

Viilunkuivaajien modernisointimoduleiden kehittäminen

Riku Partonen

Insinööritieteiden korkeakoulu

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 19.4.2017.

Työn valvoja:

Prof. Kari Tammi

Työn ohjaaja:

TkL Roope Eskola

Tekijä: Riku Partonen		
Työn nimi: Viilunkuivaajien modernisointimoduleiden kehittäminen		
Päivämäärä: 19.4.2017	Kieli: Suomi	Sivumäärä: 5+58
Konetekniikka		
Professuuri: Koneensuunnittelu		
Työn valvoja: Prof. Kari Tammi		
Työn ohjaaja: TkL Roope Eskola		
<p>Työssä on kehitetty Raute Oyj:n tuottamia viilunkuivaajan modernisointimoduleita ratkaisemalla non-stop –laitteen poikkipuomin lukitukseen liittyviä ongelmia systemaattisen suunnittelumenetelmän keinoin. Lisäksi työssä on laadittu lähtötietovaatimukset moduleiden suunnitteluun, sekä tarkistuslistat suunnitteluvirheiden vähentämiseksi.</p> <p>Modernisoinnissa tuodaan vanhaan konekantaan uutta toiminnallisuutta verrattain pienillä investointikustannuksilla. Laitetoimittajalle modernisointiprojektit voivat olla haastavia vaihtelevan toimintaympäristön vuoksi. Kun modernisoitavan viilunkuivaajan lisäksi myös asiakkaiden tehdastilat poikkeavat toisistaan, asettavat nämä omat haasteensa ja rajoitteensa modernisoinnin toteutukselle.</p> <p>Viilunkuivaajan non-stop –laitteen operaattorin puoleisen kuljetinpuomin lukitukseen on käytetty tappilukitusta. Tappilukituksen vuoksi poikkipuomin siirtäminen on hidasta, mikä pidentää pinkanvaihtoon kuluva seisona-aikaa eri pituisia viiluja kuivattaessa. Lisäksi non-stop –laitteen puomistoon tappeja varten porattavien reikien sijoittaminen on osoittautunut haastavaksi. Yhtenä työn tavoitteena oli suunnitella lukitukselle portaaton säätö, joka nopeuttaa puomin siirtoa.</p> <p>Modernisointiprojektien selkeyttämiseksi tässä työssä selvitettiin yleiset ja moduli-kohtaiset suunnitteluun tarvittavat lähtötiedot. Tämän lisäksi kartoitettiin kunkin modernisointimodulin suunnittelun yhteydessä tarkistettavat asiat. Nämä tiedot mahdollistavat moduli-kohtaisten suunnittelun tarkistuslistojen laatimisen.</p>		
Avainsanat: viilu, viilunkuivaaja, systemaattinen suunnittelu		

Author: Riku Partonen		
Title: Development of veneer dryer modernization modules		
Date: 19.4.2017	Language: Finnish	Number of pages: 5+58
Mechanical Engineering		
Professorship: Machine Design		
Supervisor: Prof. Kari Tammi		
Advisor: Lic.Sc (Tech.) Roope Eskola		
<p>The main objective of the thesis is to develop the modernization modules for veneer dryers manufactured by Raute Corporation. This is achieved by resolving known issues relating to the motion locking of the non-stop –device cross beam with systematic design process. Furthermore, initial information requirements and design checklists for each module are drafted in order to reduce the risk of design errors in modernization projects.</p> <p>Modernizations incorporate additional functionality for relatively modest investments into existing machinery. Modernization projects can be challenging for the supplier, due to the variable operating environments. Both the dryer and the layout differ in each project, which in turn set their own demands and restraints for the design.</p> <p>The operator-side conveyor beam was motion locked with a locking pin. This type of locking causes the repositioning of the cross beam to be time consuming, which in turn increases the down time of the dryer when drying veneer of varying lengths. Furthermore, the dimensioning of the correlating holes had proven inaccurate in practice. Thus, there was a demand for freely adjustable locking mechanism, which would shorten the time to reposition the cross beam. Hence, such a motion locking mechanism was designed in this thesis.</p> <p>General and module specific initial information requirements were gathered in the thesis in order to simplify the modernization design process. Furthermore, the details that need to be verified during the design process were collected. According to this data, module specific design checklists were devised.</p>		
Keywords: Veneer, Veneer Dryer, Systematic Design Process		

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	ii
Tiivistelmä (englanniksi)	iii
Sisällysluettelo	iv
Lyhenteet	v
1 Johdanto	1
1.1 Tavoitteet	1
1.2 Rajaukset	2
2 Viilunkuivaus	4
3 Moderni viilunkuivauslinja	9
4 Kuivaajien modernisointimoduleiden esittely	18
4.1 Non-stop -laite	18
4.2 Poisto- ja korvausilman ohjaus	20
4.3 Kostutusjärjestelmä	22
4.4 Jäähdytysilman ohjaus	24
4.5 Ruuhkantunnistus	25
4.6 Refeed -laite	26
5 Ketjukuljettimella varustetun non-stop -laitteen operaattorin puolen kiinnityksen muuttaminen portaattomaksi	29
6 Modernisointien lähtötiedot ja tarkistuslistoissa huomioitavat tekijät	44
6.1 Non-stop -laite	46
6.2 Kostutusjärjestelmä	48
6.3 Poisto- ja korvausilman ohjaus	49
6.4 Jäähdytysilman ohjaus	51
6.5 Ruuhkan tunnistus	52
6.6 Refeed-laite	53
7 Yhteenveto	55
Viitteet	57

Lyhenteet

CAD	Computer-Aided Design (tietokoneavusteinen suunnittelu)
LVL	Laminated Veneer Lumber (viilupalkki)
SEM	Scanning Electron Microscope (pyyhkäisyelektronimikroskooppi)
VOC	Volatile organic compound (haihtuvat orgaaniset yhdisteet)
FEM	Finite Element Method (elementtimenetelmä)

1 Johdanto

Raute Oyj on teknologia- ja palveluyritys, joka palvelee maailmanlaajuisesti puutuotetoimialaa. Raute Oyj on markkinajohtaja suurimmalla asiakasteollisuudenalallaan vaneriteollisuudessa 15-20 % markkinaosuudella. Tämän lisäksi Raute Oyj:llä on merkittävä asema LVL-teollisuudessa. Yli puolet maailman LVL:stä tuotetaan Raute Oyj:n toimittamilla laitteilla. [1]

Raute Oyj:n palvelukonsepti koostuu projektitoimituksista ja teknologiapalveluista. Projektitoimituksiin sisältyvät laitteet yksittäisistä koneista koko tehtaan tuotantoprosessin kattaviin kokonaisuuksiin. Teknolgiapalveluihin sisältyvät varaosatoimitukset, kunnossapitosopimukset ja konekannan modernisoinnit. Myös teknologiapalveluita tarjotaan kaikkiin tuotantoprosessin laitteisiin ja koneisiin. [1]

Modernisoinnit ovat osa Raute Oyj:n teknologiapalveluita, joiden osuus liikevaihdosta oli 33 % vuonna 2015 [1]. Modernisoinnilla tarkoitetaan uuden toiminnallisuuden lisäämistä asiakkaan olemassa olevaan konekantaan. Modernisoinnit tuottavat asiakkaalle lisäarvoa parantamalla modernisointikohteiden tuottavuutta ilman tarvetta merkittäviin investointeihin. Lisääntynyt tuottavuus saavutetaan pääsääntöisesti lyhentämällä seisona-aikoja, parantamalla viilun laatua tai lisäämällä koneen kapasiteettia.

Modernisointiprojektien kohteina olevissa kuivaajissa on merkittäviä eroja. Modernisointeja toteutetaan vaihtelevan ikäisiin ja eri valmistajien tuottamiin kuivaajiin. Täten modernisointikohteet ovat mitoiltaan ja rakenteiltaan hyvinkin vaihtelevia. Yksi keskeisimmistä ongelmista modernisointiprojekteissa on moduleiden liittyminen asiakkaan olemassa olevaan kuivaajaan. Tämä on johtanut merkittävään projektikoh-taiseen suunnittelukuormaan, kun modernisointimoduleiden rakennetta on jouduttu muuttamaan merkittävästi kuhunkin kohteeseen sopivaksi.

Laitteiston lisäksi modernisointiprojekteissa voivat vaihdella monet tekijät, joista suuri osa on asiakassidonnaisia. Yksi tärkeimmistä tekijöistä on asiakkaan toimitilat, jotka asettavat suunnittelulle omat rajoitteensa. Muita muuttuvia tekijöitä ovat tehtaan automaatiotaso, asiakkaan tehtaalla vallitseva työkuulttuuri, ja niin edelleen. Näiden vaihtelevien olosuhteiden vuoksi yleispäteviä ratkaisuja modernisoinneissa on hyvin vaikea löytää.

Aineistona käytetään Raute Oyj:n keräämää tietoa aikaisemmista modernisaa-tioprojekteista. Tutkimusmenetelminä käytetään kirjallisuus- ja tapaustutkimuksen (case study) keinoja. Keskeisten mittojen määrittämiseen ja liitännäkappaleiden suunnitteluun käytetään Creo Parametric 2.0 ja AutoCAD –CAD-ohjelmistoja. FEM-analyysi on toteutettu Creon simulate-liitännäisellä.

1.1 Tavoitteet

Yksi tämän työn tavoitteista oli ratkaista jokin viilunkuivaajan modernisointimoduleihin liittyvä käytössä havaittu ongelma. Lukuisista mahdollisista kehityskohteista tärkeimmäksi valikoitui ketjukuljettimella varustetun non-stop –laitteen poikkipuomin lukituksen kehittäminen. Lukitus on toteutettu tappikiinnityksellä, milloin puomin siirtäminen on hidasta ja lukituskohdat ovat riippuvaisia runkopalkkiin porattavista

rei'istä. Runkopalkin reikien sijoittaminen on osoittautunut haastavaksi, sillä reikien haluttu etäisyys syöttölaitteesta riippuu viilupinkan pituudesta. Viilupinkan pituuteen puolestaan vaikuttaa vaikeasti ennakoitava hajonta, joka aiheutuu viilujen kasaamisesta.

Työn ensimmäiseksi tavoitteeksi muodostui täten kehittää ja suunnitella non-stop-laitteen poikkipuomin lukitus, joka mahdollistaa puomin siirtämisen nopeasti ja portaattomasti. Tavoitteen saavuttamiseksi sovellettiin saksalaiseen standardiin VDI 2222 perustuvaa systemaattista suunnittelumetodia. Metodia sovellettiin kuitenkin siten, että ratkaisun viimeistely jää tämän työn ulkopuolelle.

Työn toinen keskeinen tavoite on kerätä modernisoinneissa tarvittavat yleiset lähtötiedot, sekä moduliikohtaiset lähtötiedot. Lähtötiedoilla tarkoitetaan tietoja, jotka asiakkaan kuivauslinjasta, kuivausprosessista ja tuotannosta tarvitaan modernisoinnin toteuttamiseksi. Lähtötietoja käytetään myös asiakkaan tuotannon alkutilanteen määrittämiseksi. Kun alkutilanne on määritetty, voidaan modernisoinnin tuottama lisäarvo konkretisoida tunnuslukujen avulla projektin lopuksi.

Työn kolmas tavoite on määrittää suunnitteluprosessin aikana tarkistettavat asiat. Näillä pyritään huomioimaan kaikki modernisointimodulin toteutukseen vaikuttavat tekijät. Tämän määritelmän avulla voidaan luoda suunnittelun tarkistuslistat kullekin modulille. Käyttämällä tarkistuslistoja suunnittelun apuvälineenä, voidaan suunnitteluvirheiden riskiä vähentää.

Tämän työn tutkimuskysymykset voidaan esittää muodossa:

- »Miten non-stop -laitteen poikkipuomin lukitus voitaisiin muuntaa portaattomaksi?»
- »Mitä lähtötietoja modernisointiprojektin toteuttamiseksi ja modernisoinnin tuottaman lisäarvon osoittamiseksi tarvitaan?»
- »Mitä asioita tulee tarkistaa suunnitteluprojektin edetessä?»

1.2 Rajaukset

Työssä asioita tarkastellaan vaneri- ja LVL -teollisuuden näkökulmasta. Kun työssä puhutaan viilusta, tarkoitetaan sorvaamalla valmistettua viilua. Tämän työn teoriaosuuksissa käsiteltävät puulajit ovat suomalainen kuusi, mänty, sekä koivu. Koivulajeja ei eritellä, sillä ne ovat ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaisia keskenään. Näihin puulajeihin liittyvä teoria on kuitenkin sikäli yleispätevää, että teoria on sovellettavissa myös vierasperäisille puulajeille. Koivut edustavat ominaisuuksiltaan lehtipuiden ryhmää, kuusi ja mänty puolestaan havupuita.

Viilunkuivaajan tarkoitus puuviiluteollisuudessa on kuivata märät viilut liimaukseen soveltuvaksi. Viilunkuivaajat voidaan luokitella kolmeen kategoriaan toimintaperiaatteen perusteella: tela-, verkko- ja kontaktikuivaajat. Lisäksi telakuivaajassa ilmankierto voi tapahtua pitkittäisesti tai kiertoilmalla. Tässä työssä käsitellään telakuivaajaa, joka toimii radiaalipuhaltimen avulla kiertoilmaperiaatteella. Kuivaaja rakentuu kuivauskennoista, jotka ovat lähes aina noin kahden metrin mittaisia. Kuivaajan pituudesta riippuen kuivauskennoja on kuivaajassa 6-28. Viilunkuivaustasojen

määrä kuivaajassa vaihtelee tyypillisesti välillä 4-6. Tällainen kuivaaja on esitelty yksityiskohtaisesti luvussa [4](#).

Tässä työssä käsiteltävät modernisointimodulit perustuvat Raute Oyj:n tarjoamiin ja toteuttamiin viilunkuivaajien modernisointeihin. Nämä modernisointimodulit ovat tämän työn kehityskohde. Modernisointien tulisi kuitenkin olla toteutettavissa myös muiden valmistajien laitteisiin.

2 Viilunkuivaus

Viilun sorvattavuuden kannalta on edullista, että sorvattava puu on riittävän kosteaa. Ensimmäisenä vaneritehtaan tuotantoprosessina onkin haudonta, jonka tarkoitus on yhtäältä lämmittää tukki sorvaukseen soveltuvaan lämpötilaan ja toisaalta kostuttaa puuta. Haudonta voidaan suorittaa tukkeina lämpimässä vedessä, kuorittuina tukkeina lämpimässä vedessä, vesihöyryllä tai sadettamalla lämmintä vettä tukkien päälle. Suomessa ylivoimaisesti yleisin haudontamenetelmä on haudonta tukkeina lämpimässä vedessä. [3]

Sorvauksen jälkeen viilu on kosteaa, mutta liimauksessa viilun pitää olla huomattavasti kuivempaa. Kuivauksen tarkoitus on laskea viilun kosteus liimaukseen soveltuvalle tasolle. Telakuivaajalle viilu saapuu arkeiksi leikattuna ja lajiteltuna kosteuden, koon ja laadun perusteella. Kuivauksen jälkeiset työvaiheet asettavat kuivatulle viilulle seuraavat vaatimukset:

- Viilun pinta on tasainen.
- Viilussa ei ole kuivauksesta johtuvaa aaltoilua tai kupruilua.
- Viilu on yhtenäistä.
- Viilun kosteus on eri kohdissa tasainen, eikä viilujen kosteuksissa ole merkittäviä eroja. [3]

Kosteuspitoisuudella tarkoitetaan puuhun sitoutuneen veden ja puun kuivamassan suhdetta. Kosteuspitoisuus määritellään seuraavasti:

$$KP = \frac{m_H - m_0}{m_0} * 100\% \quad (1)$$

, jossa m_H on koekappaleen massa määritettävässä kosteudessa ja m_0 on koekappaleen kuivamassa [4].

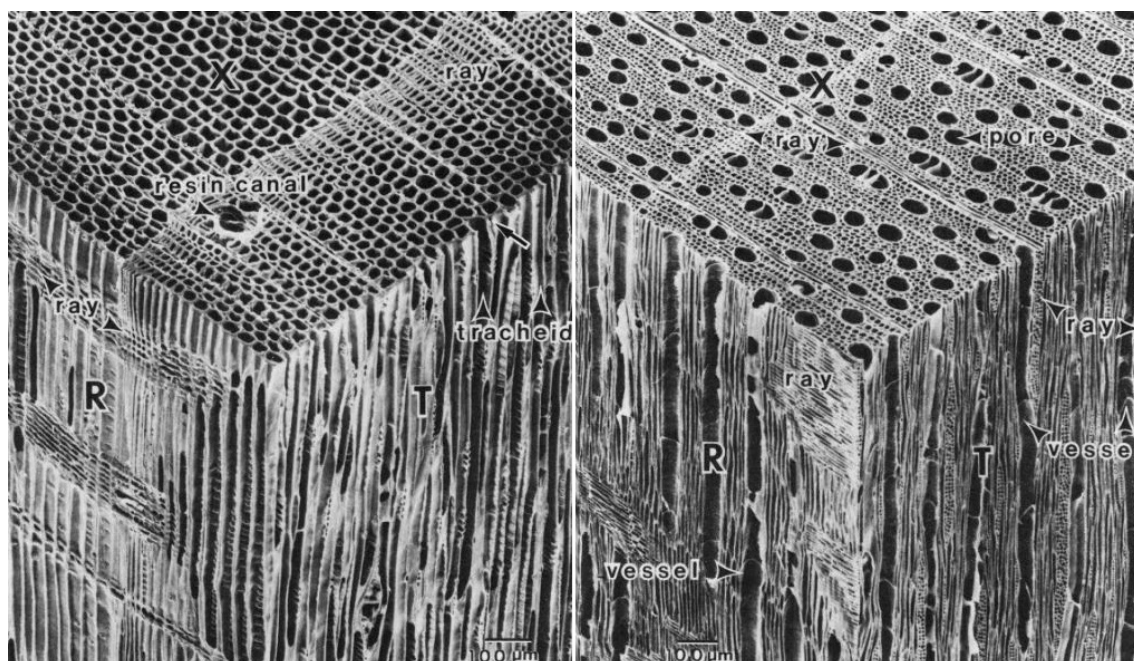
Viilun kuivauksen jälkeinen tavoitekosteus voi vaihdella liimatyypistä ja levyjen käyttötarkoituksesta riippuen välillä 0 - 18 %. Jos puu on liian kuivaa, ei liima imeydy puuhun riittävästi. Toisaalta, jos liian kosteaan puuhun liima imeytyy liiaksi, milloin liimasaumaan ei jää riittävästi sidosainetta. Kuitenkin fenoliliimauksessa, jonka osuus Suomen vanerituotannosta on yli 90 %, liimattavan puun kosteus ei saisi nousta yli 6 - 7 %. Ylimääräinen kosteus aiheuttaa liimasaumassa voimakkaan höyrymuodostuksen, mikä voi aiheuttaa virheliimauksia. [6]

Viilun loppukosteuksissa on vääjäämättä hajontaa alkukosteuksien jakaumasta johtuen. Loppukosteuksien hajonnan minimointi on yksi viilunkuivauksen keskeisistä haasteista, mihin pyritään vaikuttamaan muun muassa märkäviilujen kosteuslajittelulla. Liian kuivaksi kuivatun viilun laatu kärsii ja toisaalta märiksi jääneet viilut joudutaan kuivaamaan uudelleen, mikä laskee kuivaajan kapasiteettia. Lisäksi uudelleenkuivauksessa ja viilun ylikuivauksessa on korostunut riski ruuhkan muodostumiseen, koska ylikuivatussa viilussa esiintyy aaltoilua.

Puun alkukosteudella on suuri merkitys viilun kuivaukseen. Puun kosteuteen vaikuttavat muun muassa kasvupaikka, hakkuun vuodenaika, tukkien varastointi ja

kuljetus, sekä haudonta. Koivu ja havupuut, mitkä ovat vaneriteollisuuden tärkeimmät raaka-aineet, eroavat toisistaan kosteuden suhteen merkittävästi. Havupuilla kosteusero sydän- ja pintapuun välillä on huomattava: sydänpuun kosteus voi olla alimmillaan 30 % (ka. 45 %) ja pintapuun enimmillään 200 % (ka. 120 %) [5, 10]. Koivun kosteus on vaihtelee välillä 60 - 80 %, eikä merkittäviä eroja esiinny sydän- ja pintapuun välillä. [3]

Puulajin kuivumisnopeus on riippuvainen puun tiheydestä ja solurakenteesta. Vaikka koivu on havupuita tiheämpää, on koivun solurakenne merkittävästi avonaisempi, minkä ansiosta vesi siirtyy helpommin viilun pintaan ja täten kuivuu nopeammin kuin havupuut. Kuvassa 1 esitetyistä puulajien mikrorakenteista on nähtävissä erot solurakenteissa. Kuusen tilavuudesta noin 90 % koostuu trakeideista, jotka hoitavat veden varastoinnin ja kuljettamisen puun eri osiin [10]. Sydänpuun kuivuus ja huono vedenimemiskyky johtuvat trakedien tukkiutumisesta pihkasta ja muista hartsivahamaisista aineista, joita puun solut muodostavat kuollessaan ja muuttuessaan sydänpuuksi. [3, 8]



Kuva 1: SEM:llä otetut kuvat puulajien mikrorakenteista. Vasemmalla havupuiden mikrorakenne ja oikealla koivun mikrorakenne. Kuvissa radiaalinen leikkaus (R), tangentialinen leikkaus (T) ja poikkisyinen leikkaus (X). [7]

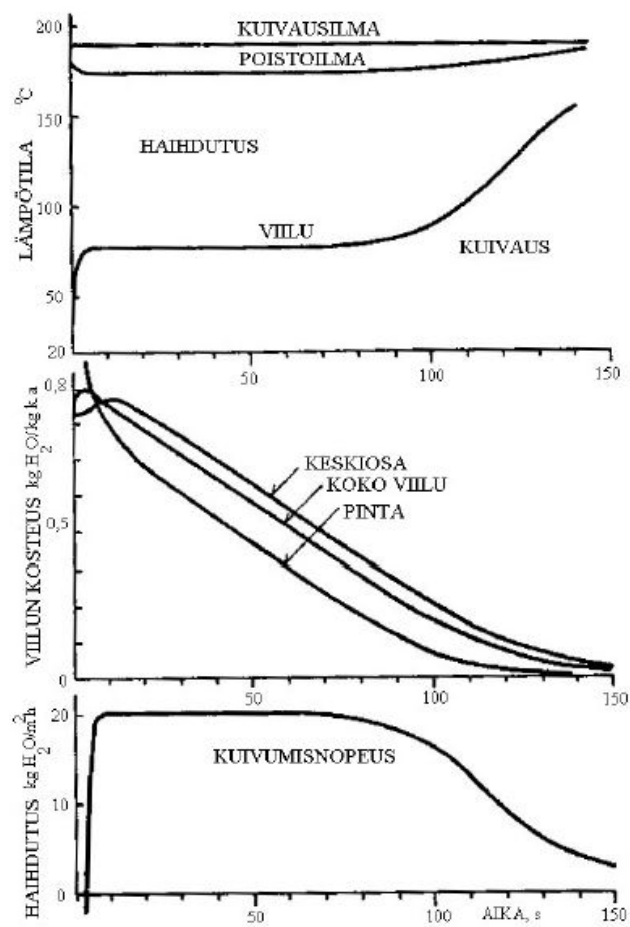
Vesi esiintyy puussa vapaana soluonteloissa tai muissa vapaissa tiloissa, sekä sitoutuneena solujen seinämiin. Kun puuta kuivataan, haihtuu ensin vapaana oleva vesi ja vasta tämän jälkeen soluseinämiin sitoutunut vesi. Kyllästymispisteeksi kutsutaan sitä kosteuspitoisuutta, jossa vapaa vesi on haihtunut, milloin jäljellä on vain soluseinämiin sitoutunut vesi. Kyllästymispisteeseen vaikuttaa puulaji ja lämpötila. Suomalaisilla puulajeilla tämä on vastaa noin 30 % kosteuspitoisuutta huoneenlämmössä.

Kyllästymispisteen yli kuivatessa puu alkaa kutistumaan. 5 % kosteuspitoisuuteen kuivattaessa kutistumat vuosirenkään tangentin suunnassa ovat koivuviilulla noin 8 % ja havuviilulla noin 6 %. Myös radiaalista kutistumaa esiintyy, mutta se on vähäisempää kuin tangentiaalinen kutistuma. Tangentiaalinen kutistuma on kuitenkin merkittävämpi, sillä se vaikuttaa viilun leveyteen, kun radiaalinen kutistuma puolestaan vaikuttaa viilun paksuuteen. Kutistuminen aiheuttaa viiluun jännityksiä, jotka voivat johtaa viilun halkeiluun, kupruuntumiseen ja aaltoiluun. [3, 10]

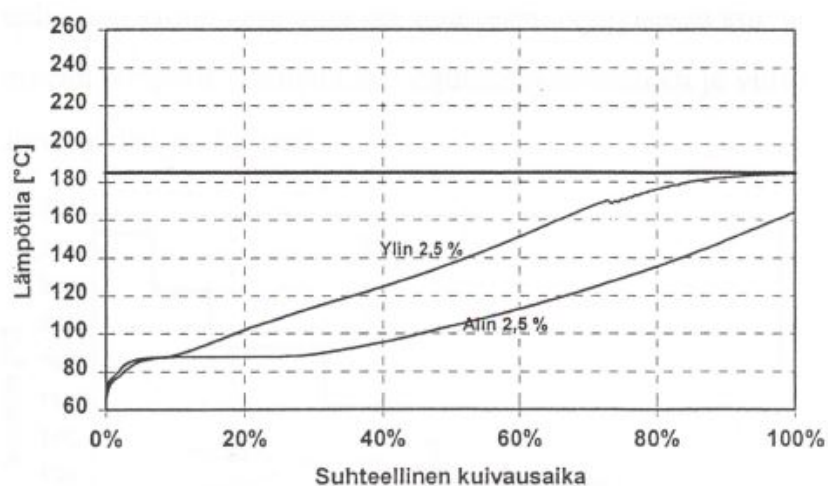
Viilun kuivaus voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: lämmitys-, tasapaino- ja loppuvaiheeseen. Aluksi viilu lämpenee kuivausilman suhteellisen kosteuden edellyttämälle tasolle, minä aikana kuivumista ei juuri tapahdu. Tyypillisessä kuivauslämpötilassa, hieman alle 200 °C:ssa, tähän kuluu noin 10 sekuntia. Tämän jälkeen alkaa tasapainovaihe, jossa kuivumisnopeus on jokseenkin vakio ja joka jatkuu aina kyllästymispisteeseen saakka. Loppuvaiheessa kuivuminen on hitaampaa, kun vesi poistuu soluseinämistä diffuusion vaikutuksesta. Loppuvaiheessa viilun lämpötila on hyvin lähellä kuivausilman lämpötilaa. Kuivauksen lopuksi viilu jäähdytetään. Jäähdytys mahdollistaa viilun jatkokäsittelyn, sekä pienentää viilun sisäisiä kosteuseroja ja kuivausjännityksiä. [3, 10]

Kuva 2 havainnollistaa viilun lämpötilan, kosteuden ja kuivumisnopeuden käyttäytymistä kuivauksen aikana. Viilun kuivauksen eri vaiheet on havaittavissa kuvaajista. Lyhyessä, noin 10 s kestävässä, lämmitysvaiheessa viilun lämpötila ja kuivumisnopeus kasvavat nopeasti. Tasapainovaiheessa kuivumisnopeus pysyy vakiona ja viilun lämpötila kasvaa melko tasaisesti (kuva 3). Loppuvaiheessa kuivumisnopeus pienenee huomattavasti, kun veden diffundoituminen rajoittaa kuivumisnopeutta. Lisäksi loppuvaiheessa viilun lämpeneminen hidastuu viilun lämpötilan lähestyessä kuivauslämpötilaa. Huomion arvoista on myös viilun pinnan ja keskiosan välinen kosteusero kuivauksen aikana, joka korostuu liian kuivalla ilmalla kuivattaessa.

Kuvan 2 esittämä viilun lämpötilakäyttäytyminen (ylin kuvaaja) on nykytiedon mukaan virheellinen. Viilun lämpötilakäyttäytyminen vastaa kuvaa 3 [13]. Aikaisemman teorian mukaan viilun lämpötila pysyi kuivausilman märkälämpötilan määrittämissä arvossa kyllästymispisteeseen asti, mutta sittemmin on osoitettu viilun lämpötilan kohoavan märkälämpötilaa korkeammaksi hyvin pian kuivauksen alettua. [3]



Kuva 2: Viilun lämpötila, haihtumisnopeus ja kosteus ajan funktiona kuivauksen aikana. [3]



Kuva 3: Viilun lämpötila kuivauksen eri vaiheissa. Esitettyinä kuvassa ovat kuivausilman lämpötila ja viilun lämpötilan vaihteluväli. [13]

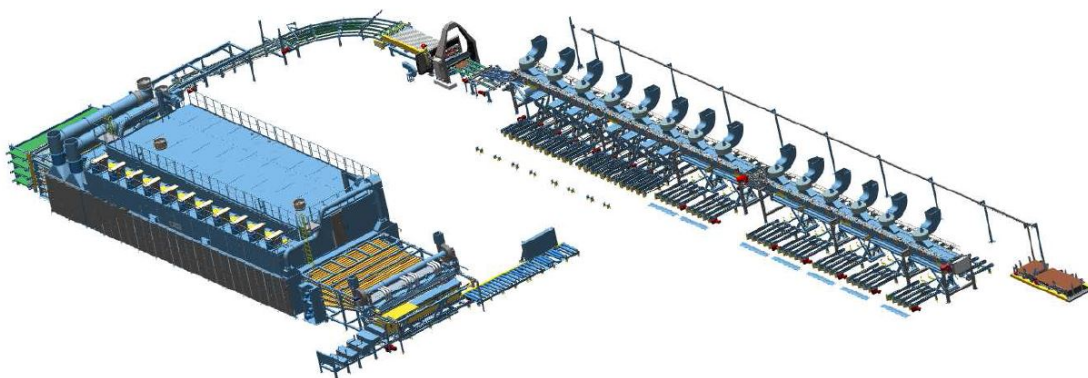
Viilunkuivauksessa käytetään kosteaa kuivausilmaa. Kuivausilman suhteellisen kosteuden laskiessa viilu kuivuu teoreettisesti nopeammin, mutta heikentää kuivauksen energiatehokkuutta ja huonontaa viilun laatua [11]. Lisäksi ongelmaksi kuivalla ilmalla kuivattaessa muodostuu viilun epätasainen kuivumisnopeus, milloin viilun pintaan muodostuva kuiva kerros vastustaa veden diffundoitumista. Tällöin viilu voi jäädä keskustastaan märäksi, vaikka pintapuolisella tarkastelulla viilu vaikuttaisi kuivalta. Esimerkiksi ilman kosteuden kasvattaminen $150 \frac{g}{kg}$:sta $650 \frac{g}{kg}$:aan laskee lämpöenergian kulutusta 27 %:lla kuivauksessa [2]. Liian kuivalla ilmalla kuivaamisesta johtuvia vikoja ovat viilun halkeilu, aaltoilu ja kupruuntuminen, mitkä johtuvat paikallisten kosteuserojen aiheuttamista jännityksistä. Suurilla ilmankosteuksilla (yli $1000 \frac{g}{kg}$) ei ole osoitettu olevan viilun laatua entisestään parantavaa vaikutusta [12]. [3]

Kuivausilman lämpötilalla on luonnollisesti suuri vaikutus kuivausnopeuteen. Ylärajan kuivauslämpötilalle asettaa viilun pinnan tummuminen, sekä puun palaminen. Puun itsesyttymislämmön on havaittu olevan 250 °C [14]. Viilun pinnan tummuminen alkaa jo paljon alhaisemmissa lämpötiloissa, mutta on aikariippuvainen prosessi. Näin ollen tummuminen harvemmin muodostuu ongelmaksi muulloin kuin häiriötilanteissa. Havupuiden pihka haihtuu 185 °C :ssa. Havuviilu kuivataan siis vähintään tässä lämpötilassa, jotta saadaan tuotettua parempilaatuista, pihkatonta, viilua. [3, 10]

Ilman nopeus viilun pinnalla on keskeinen kuivausnopeuteen vaikuttava tekijä, koska viilunkuivaajan lämmönsiirto perustuu suurimmalta osin pakotettuun konvektioon. Lisäksi kohtisuoraan viilun pintaan tuleva turbulenttinen virtaus poistaa viilusta haihtuvan vesihöyryn muodostaman, kuivumista hidastavan, rajakerroksen. Toisaalta energiankulutus kasvaa voimakkaasti puhallusnopeutta lisättäessä. Vaadittu puhallinteho on verrannollinen ilman virtausnopeuden kolmanteen potenssiin [11]. Täten suutinlaatikot tulisi sijoittaa mahdollisimman lähelle viilun pintaa, jotta ilman virtausnopeuden hidastuminen suuttimen ja viilun pinnan välillä saataisiin minimoitua. Tällöin ilman nopeus on suurin mahdollinen viilun pintaan osuessaan. [10, 9]

3 Moderni viilunkuivauslinja

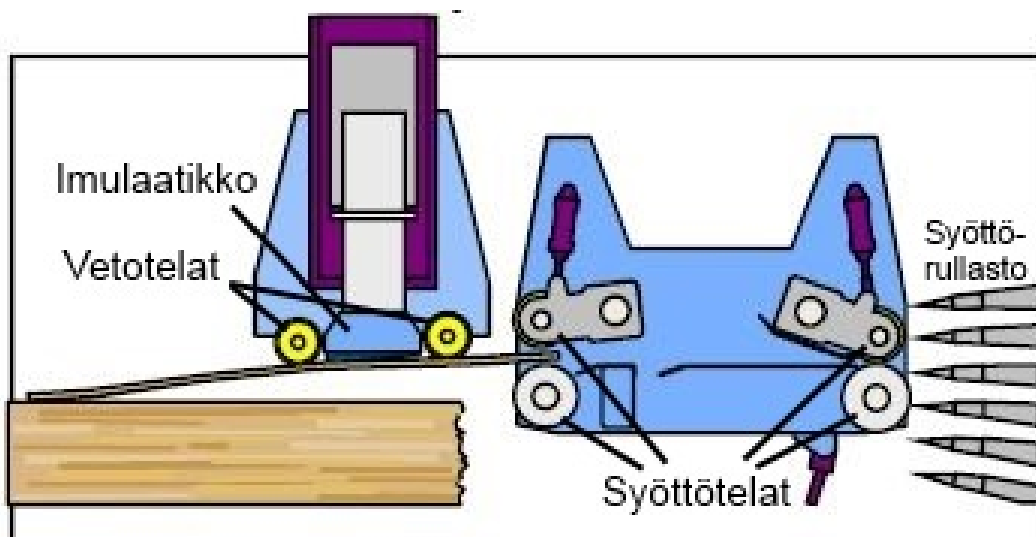
Kuvassa 4 on esitetty modernin kuivauslinjan yleiskatsaus. Ensimmäisenä kuivauslinjassa on syöttölaite, jolle leikatut ja kosteuslajitellut viilupinkat johdetaan kuljettimia pitkin. Syöttölaite syöttää viiluja yksitelleen vierekkäisistä pinkoista kuivaustasoille, ja edelleen kuivaajaan. Kuivaajan kuumassa osassa viilu kuivataan puhaltamalla lämmintä ja kosteaa ilmaa viilun pinnalle. Kuivaajan viimeisissä lohkoissa, jäähdytyskennoissa, viilu jäähdytetään. Kuivaajan jälkeen linjassa on risteysasema, joka kääntää viiluarkkien kulkusuunnan. Tästä viilu siirretään kuljetinta pitkin kosteusmittarin ja visuaalisen tarkastelun kautta pinkkarille. Viiluarkit lajitellaan kosteuden ja pinnanlaadun perusteella eri laatuluokkiin. Ylikosteiksi luokitellut viulut lajitellaan tasaantumispinkkaan. Tasaantumisjakson jälkeen syötetään uudelleen luokitteluun refeed-laitteella ja tarvittaessa kuivataan uudestaan.



Kuva 4: Moderni viilunkuivauslinja.

Viilun kulkusuunta kuivaajassa on aina puiden syiden mukainen. Tämän vuoksi linja täytyy aina suunnitella kuivattavien viilukokojen mukaan. Erilaiset viilukoot asettavat erilaisia vaatimuksia kuivauslinjalle laitteistolle. Käsiteltäviä viilukokoja voi olla useita, milloin laitteiston tulee olla käytettävissä näille kaikille.

Kuva 5 esittää syöttölaitteen toimintaperiaatetta. Imulaite irroittaa viilupinkan päällimmäisen viilun pinkasta. Imulaitteen tuottaman alipaineen tulee olla riittävä nostamaan päällimmäisen viilun, mutta ei liian voimakas nostaakseen useampaa viilua. Imuosa nostaa viilun veteloille, jotka ohjaavat viilun syöttölaitteelle, ja edelleen syöttörullastojen kautta halutulle kuivaustasolle. Suunnittelussa modernin syöttölaitteen syöttönopeutena käytetään $19 \frac{\text{syöttöä}}{\text{min}}$. Käytännössä haivaittu syöttönopeus on kuitenkin hieman yli $20 \frac{\text{syöttöä}}{\text{min}}$. [15]

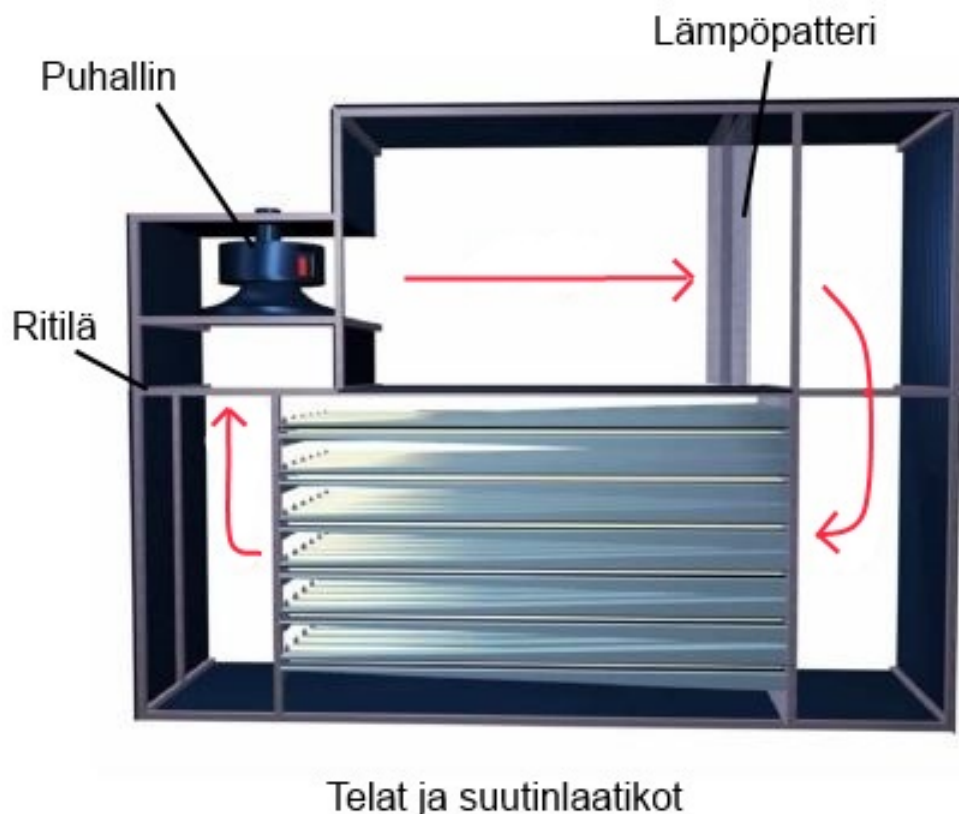


Kuva 5: Syöttölaitteen toimintaperiaate [15].

Viilunkuivaajan operaattori sijaitsee suurimman osan ajasta syöttölaitteella, missä hän valvoo kuivaajan toimintaa ja avustaa viilunsyöttöä. Erityisesti ohutviilupinkoissa viilut ovat pakkautuneet pinkkaan niin tiiviisti, etteivät vetotelat yksinään jaksaa irroittaa viilua pinkasta vaan telat alkavat luistamaan. Tällöin operaattori avustaa viilun irrottamisessa pinkasta nostamalla viilua hieman takareunastaan, milloin viilun väliin pääsee ilmaa. Lisäksi viilupinkkoihin on voinut jäädä viilunpalasia tai muuta roskaa, minkä operaattori siivoaa ennen syöttöä, sillä roskat voivat aiheuttaa häiriöitä syöttölaitteella.

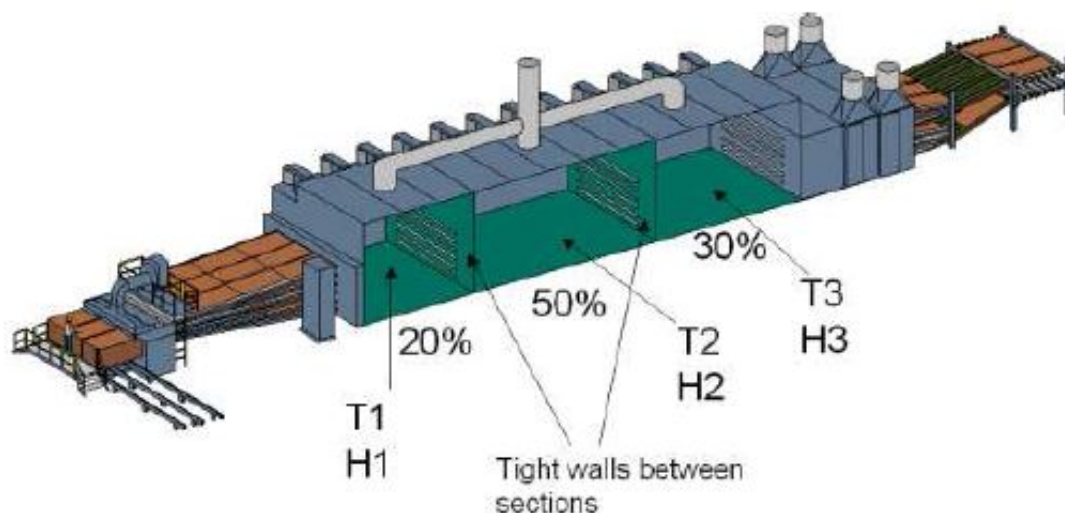
Kuivaajan kuuma osa koostuu halutusta kapasiteetista ja kuivaajalle käytettävissä olevan tilasta riippuen 4-6 kuivaustasosta ja 6-28 kennosta, joiden rakenne on esitetty kuvassa 6. Yksi kenno on noin kaksi metriä pitkä. Yleisimmät kuivaustasojen leveydet ovat 4800 mm ja 6200 mm. Kuivaustasojen määrä vaikuttaa kuivaajan korkeuteen ja kuivauskennojen määrä kuivaajan pituuteen. Kuivaajan kapasiteettiin vaikuttavat muun muassa seuraavat tekijät:

- viilun alkukosteus
- kuivattavat viilunpaksuudet
- viilun nopeus kuivaajassa
- kuivausilman nopeus vanerin pinnalla
- kuivaustasojen pinta-ala, johon vaikuttavat kuivaajan pituus, leveys ja kuivaustasojen määrä
- kuivausilman lämpötila ja suhteellinen ilmankosteus. [10]



Kuva 6: Kuusitasoisen kuivauskennon rakenne. Kuivausilman kiertosuunta ilmaistu punaisilla nuolilla.

Kuivauskennossa puhallin kierrättää kennon sisällä ilmaa kuvan 6 mukaisesti. Puhaltimelta ilma kulkee lämpöpatterille, joka lämmittää ilmaa. Pattereiden lämmöntuotto perustuu useimmiten joko höyryyn tai termoöljyyn, mutta myös muita vaihtoehtoja on olemassa. Patterilta ilma ohjataan suutinlaatikoihin, joista ilma puhaltuu suuttimien läpi viilun pintaan molemmiin puolin. Päätyä kohden ohenevissa suutinlaatikoissa on lukuisia suuttimia, joista ilma saadaan ohjattua tasaisesti ja mahdollisimman suurella nopeudella viilun pinnalle. Suutinlaatikon muoto ohjaa ilmavirtauksen jakautumaan tasaisesti kuivaajan leveydelle. Ritilä estää viilun mukana kulkeutuneiden, tai viilusta irronneiden, roskien pääsyn puhaltimelle. Puhaltimen puoleisessa päädyssä kennoissa on lämpöeristetty ovi, joka mahdollistaa kulkemisen kennon sisälle siivousta ja muita huoltotoimenpiteitä varten.

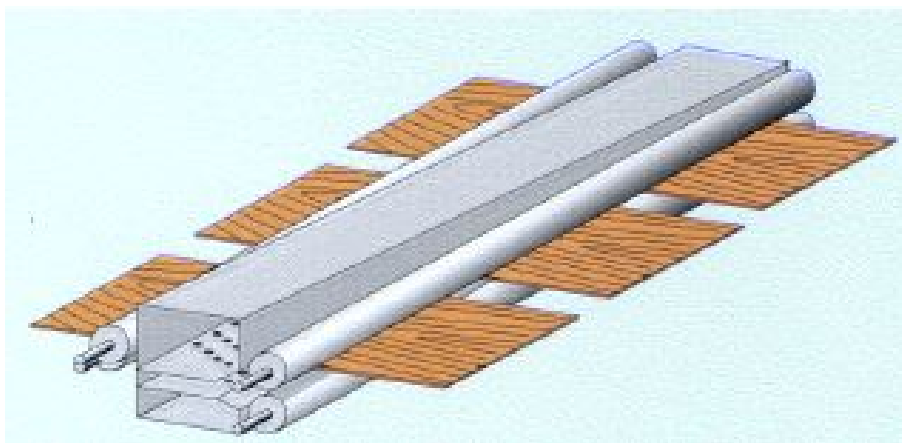


Kuva 7: Viilunkuivaajan sektorijako. [2]

Kuivausilman ohjausta varten kuivaaja jaetaan sektoreihin kuvan 7 mukaisesti. Sektorijako perustuu luvussa 2 esiteltyihin kuivauksen vaiheisiin: lämmitys-, tasapaino- ja loppuvaiheeseen. Tällöin viulun käyttäytyminen kunkin sektorin sisällä yhtenäistä ja kuivausilman lämpötilaa ja kosteutta voidaan ohjata sektoreittain. Seinämiä huolimatta kuivausilmaa kulkeutuu sektorista toiseen viulun kulkusuunnan mukaisesti. Kuten luvussa 2 todettiin, keskisektorissa suurin osa viulun kosteudesta haihtuu, eikä alku- ja loppusektoreissa viilusta ei juurikaan vapaudu kosteutta kuivausilmaan.

Lämmitysvaiheessa korkea lämpötila on tarpeen, jotta viilu lämpenee mahdollisimman nopeasti lähelle tasapainolämpötilaa. Näin kosteuden haihtuminen viilusta saadaan alkamaan mahdollisimman aikaisin ja kuivaaminen nopeutuu. Samoin tasapainovaiheen aikana korkeasta lämpötilasta on etua, koska korkea lämpötila nopeuttaa vapaan veden haihtumista. Loppuvaiheessa kuivaajan lämpötilaa on edullista laskea. Tässä vaiheessa kuivausvirheitä muodostuu herkimmin, minkä muodostumiseen lämpötilalla on keskeinen vaikutus. Loppuvaiheen jälkeen viilu etenee jäähdytykseen, jota alhaisempi lämpötila nopeuttaa. Lisäksi alhaisemman lämpötilan käyttö säästää hieman lämpöenergiaa, eikä korkeasta lämpötilasta saavuteta merkittävää etua kuivausnopeudessa.

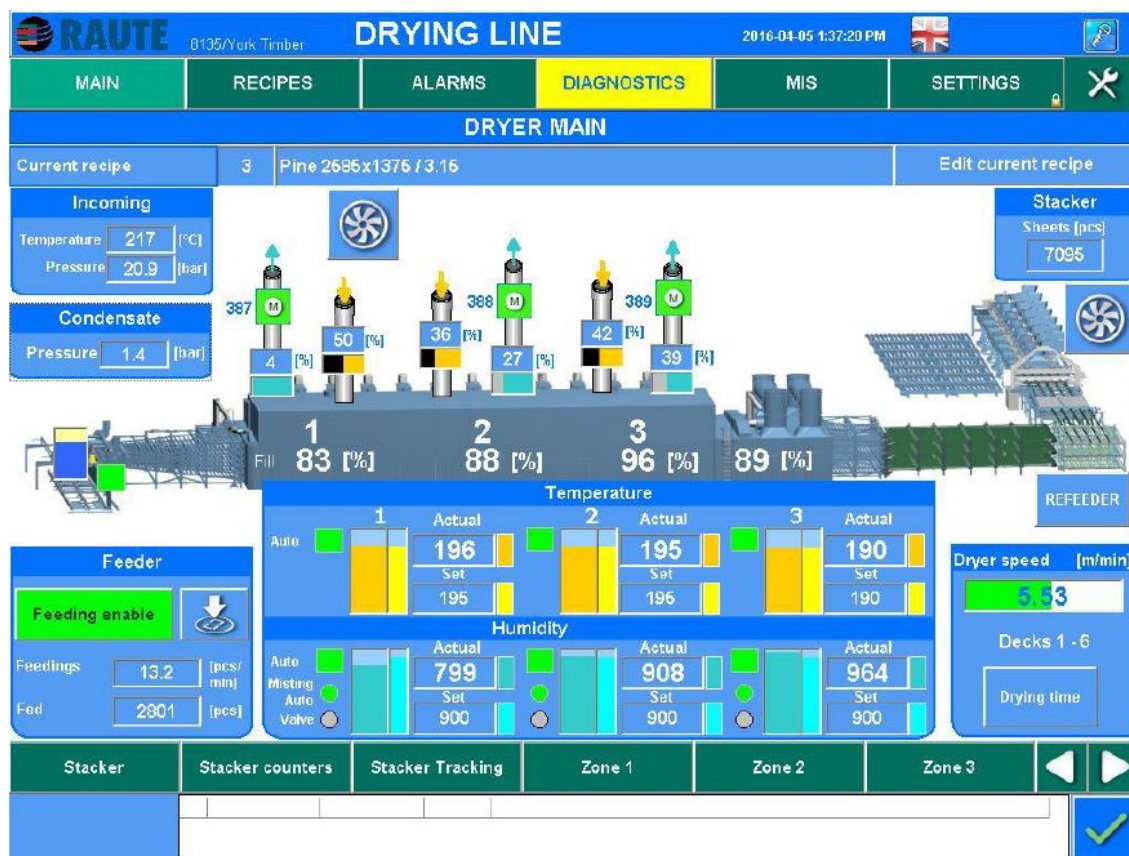
Viiluarkit kulkevat kuivaajan kuumassa osassa telojen ja suutinlaatikkojen välissä kuvan 8 mukaisesti. Telat, joista kuivaajatyypin saa nimensä, kuljettavat viilua eteenpäin. Telaparien etäisyys toisistaan on 300 - 400 mm ja teloissa on ketjuvälitys, jonka käyttökoneikot sijaitsevat koneikon loppupäässä [10].



Kuva 8: Viilun kulku telojen ja suutinlaatikkojen välissä.

Kuivaajaan voi muodostua ruuhka, jos viilu juuttuu kuivaajassa johonkin tai viilun kulku estyy muutoin. Tällöin seuraava viilu törmää pysähtyneeseen viiluun ja ruuhka alkaa muodostua. Ruuhkautumista pyritään välttämään suutinlaatikon muotoilulla. Suutinlaatikkojen viilun tulosuunnan puoleiset laidat ovat viistetyt parantaakseen viilun ohjautumista suutinlaatikkojen väliin. Lisäksi suuttimet ovat sisäänpainetut viilun takertumisen estämiseksi. Ruuhkautumisen riski kasvaa, mikäli viilua ylikuivataan. Tämä johtuu ylikuivan viilun taipumuksesta voimakkaaseen aaltoiluun. Ruuhkautumisen riski on näin ollen suurempi viilun pienillä lähtökosteuksilla, joita esiintyy esimerkiksi havupuun sydänpuun kuivauksessa ja uudelleenkuivauksessa, koska matalilla lähtökosteuksilla viilu myös ylikuivuu herkästi.

Poistoilmaa voidaan ohjata kuivaajan päällä olevan putkiston kautta kuivaajasta ulkoilmaan, milloin korvausilmaa otetaan kuivaajan kyljessä olevista venttiilein säädetyistä aukoista. Täten saadaan kuivausilman kosteutta tasattua sektoreiden välillä tai poistettua tietystä sektorista. Poistoilman lämpöenergia otetaan talteen ja voidaan käyttää esimerkiksi puristimien ja ilmastointikojien lämmitykseen [10]. Kuivausilmaa voidaan tarvittaessa kostuttaa suihkuttamalla kuivaajaan vettä tai vesihöyryä. Kuivausilman lämpötilaa ja kosteutta seurataan antureilla ja ohjataan tietokoneavusteisesti. Korvausilman hallinta ja kostutusjärjestelmä on esitelty yksityiskohtaisemmin luvussa 4.



Kuva 9: Kuivaajan ohjausohjelmiston päänäköymä.

Tärkeimmät kuivaajasta seurattavat suureet on kerätty ohjausohjelmiston päänäköymään (kuva 9). Päänäkymässä kerrotaan muun muassa kuivaajan täyttöaste ja kuivausilman olosuhteet sektoreittain, syöttönopeus, kuivaajan nopeus, poisto- ja korvausilman syöttöaste ja käytössä oleva kuivausresepti. Ohjelmiston avulla kuivaajaa ohjataan ja kuivaajan toimintaa voidaan valvoa. Poikkeustilanteita lukunnottamatta kuivaajaa ohjataan kuivausreseptien avulla, miten varmistetaan oikeat asetuservot kuivattavalle viilulle ja saadaan kuivausolosuhteet yhdenmukaistettua. Kuivausreseptit on yksilöity puulajeittain, kosteusluokittain ja viilukoittain.

Kuivausilman olosuhteita ohjataan sektoreittain poistoilmapuhaltimien, korvausilmaventtiilien ja kostutusjärjestelmän avulla. Lämpötila- ja kosteusanturit sijaitsevat samassa kennossa poistoilmalähdön kanssa. Kuvassa 9 on havainnollistettu kuivausilman ohjausta.

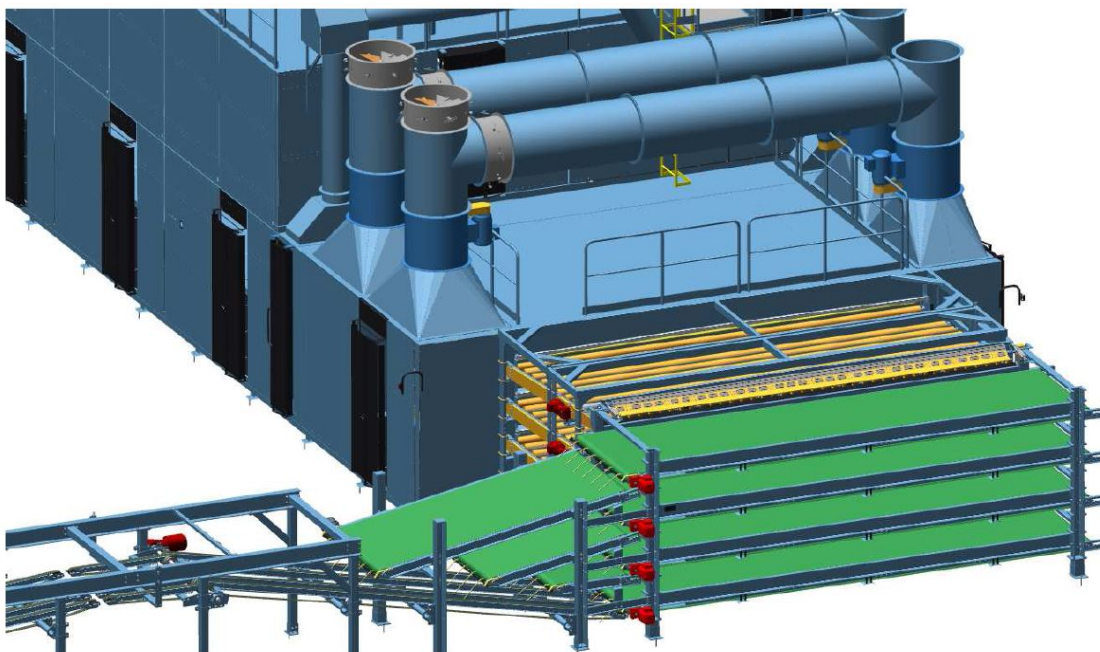
Jäähdytyskennojen tarkoitus on viilentää kuivattu viilu tuotantoprosessin jatkoon kannalta sopivaan lämpötilaan ja toisaalta tasoittaa epätasaisen kuivaamisen aiheuttamia jännityksiä viilussa. Viilun lämpötilan jäähdytyksen jälkeen tulisi olla alle 30 °C. Tällöin viilu on käsiteltävissä ja liiman lämpötilariippuvainen viskositeetti on ennustettavissa.

Kuivaajan kuuman osan viilun kulkusuunnan mukaisissa päissä sijaitsevat alipaineistetut kärykennot, joilla pyritään estämään ensinnäkin ihmiselle haitallisten

VOC-kaasujen pääseminen tehdasilmaan ja toisekseen välttämään epäpuhtauksien kondensoituminen viilun pinnalle estämällä kuivausilman pääsy jäähdytyskennostoon. Kärykennoista VOC-kaasut puhalletaan mahdollisen suodattimen kautta ulkoilmaan. Kuivaajan loppupään kärykennon tehokkuutta voimistetaan pitämällä jäähdyttimesä ylipainetta, sillä tämä kärykenno estää kuivausilman pääsyn jäähdytyskennostoon.

Epäpuhtaudet kondensoituvat ensimmäiselle kohtaamalleen viileälle pinnalle, mikä jäähdytyskennossa tarkoittaa muun muassa jäähdytettävän viilun pintaa. Tämä aiheuttaa viilun tummumista, mikä heikentää viilun laatua. Erityistä tarkkuutta tarvitaan havupuita kuivattaessa näiden sisältämän pihkan vuoksi. Kondensoitunut pihka voi jumittaa esimerkiksi venttiilien siipisäätimiä, mikä lisää niiden huollontarvetta. Toinen ongelma on pihkan kondensaatio kuivaajan teloille. Telan pinnalle kondensoituva pihkakerros muuttaa telan halkaisijaa aiheuttaen telan kehänopeuden kasvun ja edelleen viilun kulkunopeuden paikallisen vaihtelun. Pihka ei kerry teloille tasaisesti, vaan telan keskiosaan pihkaa kertyy enemmän. Kun viilun nopeus telan leveydellä on epätasainen, ruuhkautumisen riski kasvaa ja viiluun muodostuu taivutusjännityksiä. Taivutuksen johdosta viilu menettää muotonsa ja voi halkeilla, eli viilun laatu kärsii.

Jäähdytyksen jälkeen kuivauslinjassa on risteysasema, jossa viilun kulkusuunta käännetään, jotta kuivaajassa rinnakkain kuljetetut viilut saadaan kuljettimelle peräkkäin. Kuivaajan jälkeisten kuljettimien leveys täytyy siis mitoittaa kuivattavien viilujen leveyden perusteella, sillä viilut syötetään kuivaajaan aina pitkittäin, eli viilun syiden myötäisesti. Toisaalta kuljettimien tulee tarjota riittävä tuki myös kapeammille viiluille, jos tehtaassa kuivataan vaihtelevan levyisiä viiluja. Kuvassa 10 on esitetty kuivaajan loppupää ja risteysasema.



Kuva 10: Kuivaajan loppupää ja risteysasema [2].

Risteysaseman jälkeisen kuljettimella viilun kosteus mitataan ja pinnanlaatu tarkastetaan konenäön avulla. Tästä viilut kuljetetaan pinkkarille, joka lajittelee viilut pinnanlaadun ja koon perusteella pinkkoihin. Kuitenkin kosteudeltaan raja-arvon ylittävät viilut pinotaan erilliseen tasaantumispinkkaan. Tasaantumisajan jälkeen märiksi luokitellut viilut syötetään uudelleen lajitteluun refeed -laitteen avulla, joka esitellään tarkemmin luvussa 4.6. Jos viilut ovat tasaantumisjakson jälkeen yhä liian kosteita, kuivataan viilut uudelleen.

Viilun uudelleenkuivaamisesta tulee pyrkiä välttämään. Viilun uudelleenkuivaus hukkaa jo lähtökohtaisesti kuivaajan kapasiteettia, kun märkäviilun sijasta kuivataan viilua toistamiseen. Lisäksi viilu on suhteessa hyvin kuivaa verrattuna märkäviiluun. Tällöin viilu ylikuivuu, halkeilee ja aiheuttaa ruuhkia herkästi. Merkittävän kosteuseron vuoksi uudelleenkuivattavaa viilua ei voida myöskään kuivata samanlaisesti märkäviilun kanssa. Uudelleenkuivausta varten kuivaajaa ohjataan erityisellä kuivausreseptillä.

Viilun loppukosteuksien hajonnan minimoiminen on yksi keskeisimmistä viilunkuivaamiseen liittyvistä haasteista. Hajontaa pyritään minimoimaan esimerkiksi märkäviilujen kosteuslajittelun ja kuivausparametrien optimoimisella simulaatiomallien avulla. Hajontaa ei kuitenkaan voida alkukosteuksien jakautuneen luonteen vuoksi saada täysin eliminoitua. Jos kaikkien viilujen riittävä kuivuminen varmistettaisiin kuivausparametreilla, hukattaisiin merkittävästi kuivaajan kapasiteettia tarpeettomaan kuivaamiseen. Kuivauksen parametrusointi onkin optimointia märiksi jäävien viilujen osuuden ja kuivauksen läpimenoajan välillä.



Kuva 11: Kosteusmittari ja pinnanlaadun tarkistus [2].

Lajittelupinkkojen määrä pinkkarilla vaihtelee tehdaskohtaisesti viilunkokojen ja laatuluokittelun perusteella. Pintaviiluilta edellytetään parempaa pinnanlaatua kuin liima- tai keskiviilulta, sillä pintaviilujen pinnanlaatu määrittää vanerin laatuluokituksen. Kutakin viilukokoa kasataan laadun perusteella vähintään kolmeen pinkkaan, mitä käytetään vanerin eri osissa ja erilaatuisten vanereiden valmistukseen. Lisäksi osa viiluista menee paikkaukseen, jossa oksakohta leikataan irti viilusta ja korvataan paikalla, eli oksattomalla viilun palasella. Lisäksi yksi lajittelupinkka tulee olla kutakin viilukokoa kohden kuivauksessa liian märiksi jääneille viiluille. Lajitellut kuivaviilupinkat kasataan tehdaskohtaiseen korkeuteen saakka, minkä jälkeen täysi pinkka jatkaa edelleen tuotantoprosessissa.

4 Kuivaajien modernisointimoduleiden esittely

Modernisoinneilla pyritään tuomaan uuden teknologian tarjoamat hyödyt vanhaan konekantaan ja näin säästämään investointikuluissa verrattuna konekannan uusimiseen. Modernisoinneilla voidaan parantaa konekannan tuottavuutta tai mahdollistaa uuden tai muutetun tuotteen valmistamisen vanhalla laitteistolla. Vaneriteollisuudessa modernisoinnit keskittyvät tuottavuuden parantamiseen. Parantunut tuottavuus ilmenee lisääntyneenä kapasiteettina, parantuneena viilun laatuna, toimintavarmuuden paranemisena, seisona-aikojen vähenemisenä tai näiden yhdistelmänä. Tässä luvussa esiintyvät modernisointimodulit pohjautuvat Raute Oyj:n tarjoamiin kuivaajien modernisointimoduleihin.

4.1 Non-stop -laite

Pinkanvaihdosta aiheutuva seisona-aika on ilman non-stop -laitetta on noin puoli-toista minuuttia. Non-stop -laitteella pinkanvaihdosta johtuva seisona-aika saadaan merkittävästi lyhyemmäksi, tai jopa kokonaan poistettua. Aluslevyllisille pinkoille käytetään erityyppistä non-stop -laitetta kuin aluslevyttömille pinkoille. Lyhytkestoisemmilla pinkanvaihdolla kuivaajan täyttöaste saadaan korkeammaksi, mikä parantaa kuivaajan kapasiteettia. Lisäksi korkeammalla täyttöasteella kuivaajassa on enemmän märkäviilua, milloin kuivausilma pysyy kosteimpana.



Kuva 12: Non-stop -laitteen toiminta aluslevyttömille pinkoille [2]

Kuvassa 12 on kuvattu aluslevyttömän pinkan non-stop –laite toiminnassa. Viilupinkan käydessä vähiin non-stop –laite ajetaan pitämään pinkan viimeisiä viiluarkkeja syöttölaitteella. Samalla nostolava ajetaan alas ja täydet märkäviilupinkat kuljetetaan nostolavalle asemiin. Kun non-stop –laitteen syöttölaitteelle nostettuna pitämät viiluarkit loppuvat, ajetaan non-stop –laite pois syöttölaitteen ja pinkkojen väliltä ja viilujen syöttö jatkuu uuden viilupinkan päältä. Tämän tyyppisellä non-stop –laitteella pinkanvaihto saadaan lähes saumattomaksi. Pinkanvaihtoon kuluu vain non-stop –laitteen lepoasentoon ajoaika, eli muutamia sekunteja. Raute Oyj:n keräämän aineiston perusteella non-stop –laite kasvattaa kuivaajan kapasiteettia keskimäärin 3,0 %.



Kuva 13: Non stop –laitteen toiminta aluslevyllisille pinkoille [2].

Mikäli märkäviilupinkkoja kuljetetaan tuotantoprosessissa trukeilla, käytetään viilupinkoissa aluslevyjä tai kuormalavoja. Märkäviilupinkan jäykkyys ei riitä kannattelemaan omaa painoaan trukin haarukoiden päällä. Nostettaessa ilman aluslevyä viilupinkka taipuu ja pinkan alimmat viilut vahingoittuvat herkästi. Aluslevyllisille pinkoille tarkoitetussa non-stop –laitteessa on tukivarsissa ketjukuljettimet, joilla aluslevyt johdetaan sivuun non-stop –laitteelta. Kuten kuvia 12 ja 13 vertailemalla nähdään, edellyttää kuljettimien integroiminen tukivarsiin niiltä järeämpää rakennetta. Tällaisella non-stop –laitteella saavutetaan noin 35 sekunnin pinkanvaihto aika, joka vastaa noin 1,6 %:n kuivaajan kapasiteetin nousua [2].

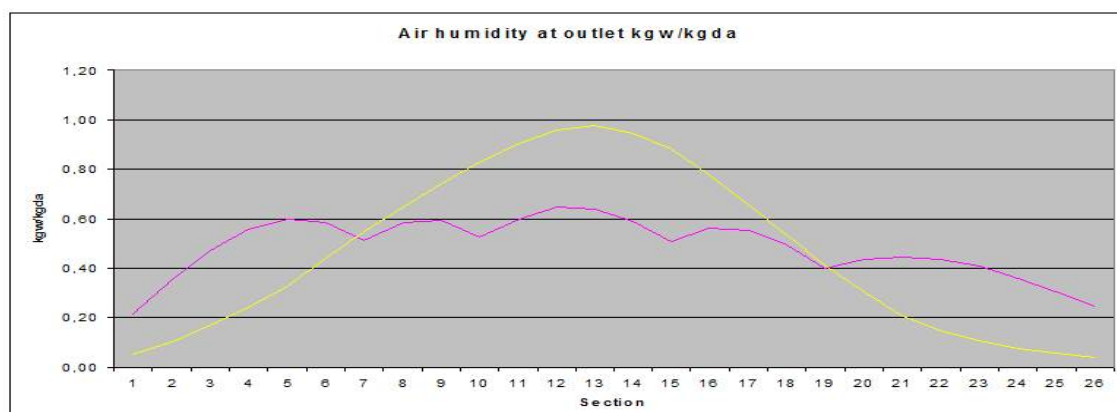
Aluslevyttömille pinkoille tarkoitetut non-stop –laitteen puomit ovat lieriömäiset ja laakeroidut, mikä mahdollistaa tukipuomien johtamisen pinkan alle kulmassa vaurioittamatta alimpia viiluja (kuva 12). Tällöin tukipuomin liike voidaan toteuttaa kahdella toimilaitteella, tai yhdellä toimilaitteella puomin päätyä kohden. Aluslevyllisille pinkoille tarkoitetussa non-stop –laitteessa ketjukuljetin tulee johtaa pinkan alle kohtisuorassa pintaa vasten. Tällöin puomin kumpaankin pätyyn tarvitaan

kaksi toimilaitetta – toinen vaakasuoraan liikkeeseen ja toinen pystysuuntaiseen liikkeeseen.

4.2 Poisto- ja korvausilman ohjaus

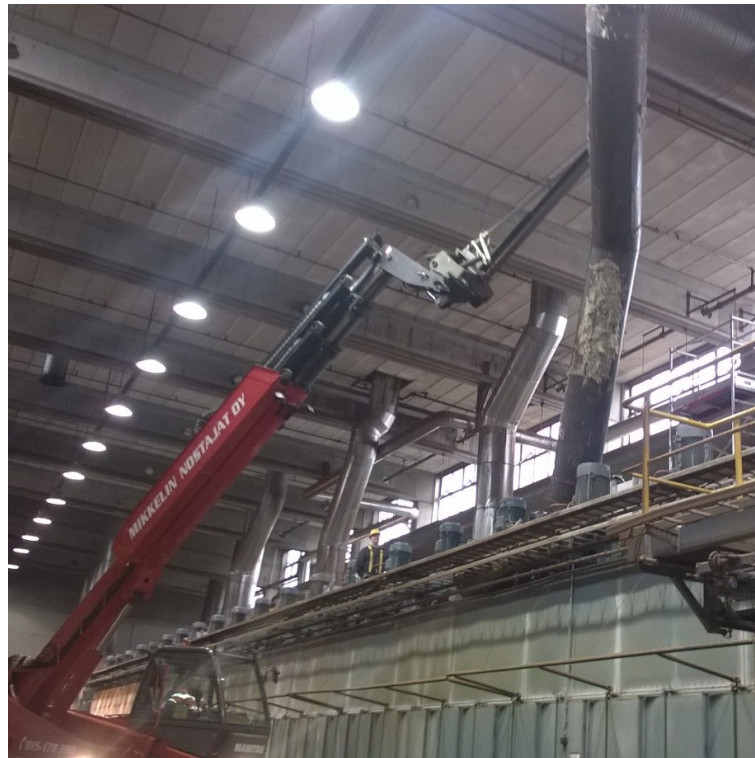
Kuivausilman ominaisuuksia hallitaan poistoilman puhalluksen ja siipisäätimien, korvausilmaventtiilien, sekä kostutusjärjestelmän avulla. Kostutusjärjestelmä esitellään tarkemmin luvussa 4.3. Ilman ominaisuuksia seurataan lämpötila- ja kosteusantureilla, jotka sijaitsevat poistojen kanssa samoissa lohkoissa. Poisto- ja korvausilmalla on yhteinen ohjaus, minkä vuoksi ne käsitellään tässäkin luvussa yhdessä.

Kuvassa 14 on esitetty kuivausilman kosteuden kehitys kuivaajan lohkojen funktiona. Keltainen kuvaaja esittää tilannetta, jossa kuivausilmaa ei ohjata ja violetti kuvaaja puolestaan tilannetta, jossa kuivausilmaa ohjataan. Kuvaajasta nähdään, että kuivausilman kosteus nousee ohjaamattomassa tilanteessa kuivaajan keskiosassa selkeästi esimerkkitalanteen asetusarvon yläpuolelle, mutta kuivaajan päädyissä ilman kosteus on hyvin matala. Violetin kuvaajan ohjatussa tilanteessa kuivausilman kosteus pysyy huomattavasti tasaisempuna kuivaajan pituudella. Violetista kuvaajasta on helposti havaittavissa korvausilmaventtiilien sijainnit kuivaajassa, mitkä esiintyvät paikallisina minimeinä kuvaajassa.



Kuva 14: Esimerkki kuivausilman kosteuden kehityksestä 26 kennoisessa kuivaajassa, kun kuivausilmaa ei ohjata ja kun sitä ohjataan [2].

Kuten luvussa 2 todettiin, pääosa viilun kosteudesta vapautuu kuivausilmaan kuivaajan keskisektorissa. Lisäksi kuivaajan luontainen ilmanvaihto tapahtuu kuivaajan päädyissä viilun sisään- ja ulostuloaukkojen kautta. Näiden seurauksena kuivausilman kosteus nousee ohjaamattomassa tilanteessa kuivaajan keskisektorilla liian suureksi ja toisaalta kuivausilma on tällöin kuivaajan alku- ja loppupäässä liian kuivaa (kuva 14).



Kuva 15: Poistoilmaputkisto kuivaajan katolla. Kuvassa on käynnissä poistoilmaputkiston muutostyö, jonka vuoksi vanhaa poistoputkea irroitetaan [2].

Poistamalla ilmaa kuivaajan päädyistä ja samalla ohjaamalla korvausilmaa kuivaajan keskisektorille saadaan kuivaajassa ilmavirta kulkemaan keskisektorilta kuivaajan päätyjä kohden. Tällöin saadaan tasattua kuivausilman kosteutta kuivaajassa kosteuden kulkeutuessa ilmavirran mukana kuivaajan päätyihin. Toisaalta kuivaajan keskisektorin kosteushuippua voidaan tasoittaa puhaltamalla sieltä pois kosteaa ilmaa ja korvaamalla se kuivalla ilmalla.

Kuvassa 15 on näkyvissä kuivaajan päällä sijaitseva poistoilmaputkisto. Poistoilmalähdöt yhdistyvät runkoputkeen, joka kuvan 15 tapauksessa sijaitsee tehtaan katolla, eikä siten näy kuvassa. Runkoputkessa sijaitsee poistoilmapuhallin, joka tuottaa keskitetysti alipaineen kaikkiin poistoilmalähtiin. Sektorikohtaista ilmanpoistoa ohjataan kuivaajan ja lähtöputken välissä sijaitsevilla siipisäätimillä. Poistoilmalähtöjä on yksi kutakin kuivaussektoria kohden, eli lyhyissä kaksisektorisissa kuivaajissa kaksi ja muutoin kolme. Alku- ja loppupään poistoilmalähtöjen tulisi olla mahdollisimman lähellä kuivaajan päätyjä, jotta kosteus saadaan tasattua myös kuivaajan päädyissä.

Korvausilmaa varten muutamiin kuivaajan keskivaiheen kennoihin asennetaan siipisäätöinen ilmaventtiili. Korvausilmaventtiilien optimaalinen lukumäärä ja sijainnit riippuvat kuivaajan ominaisuuksista. Korvausilmaventtiilien sijainnit määritetään simulointimallin avulla. Venttiiliä varten tehdään aukko kuivauskennon seinämään puhaltimen imukartion alapuolelle alipainealueelle. Näin korvausilma virtaa luonnostaan kuivaajaan ja korvausilman syöttöä voidaan ohjata venttiilillä.



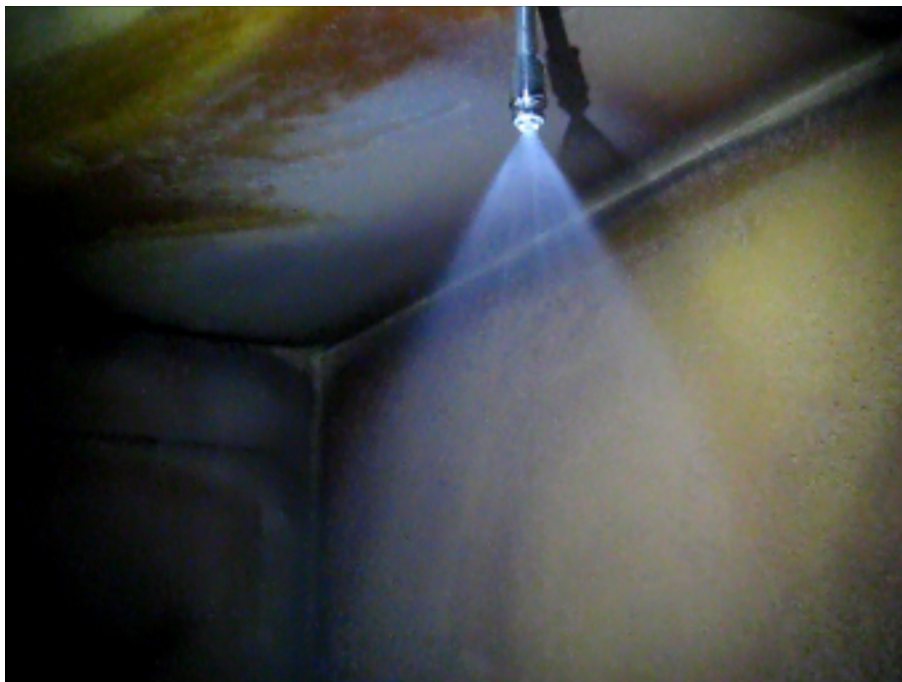
Kuva 16: Kuivaaja sivusta katsottuna. Kuvassa nähtävissä kuivaajan ovi, jonka päällä on korvausilmaventtiili [2].

Kuvassa 16 on nähtävissä kuivaajan korvausilmaventtiili siipisäätimineen. Tämän tyyppinen korvausilmaventtiili on laajalti käytössä. Tällainen rakenne on osoittautunut kuitenkin hieman ongelmalliseksi havupuun kuivauksessa. Venttiilin sisäpinnat on suorassa kosketuksessa kuivausilman kanssa ja venttiili on riittävän viileä mahdollistaakseen kuivausilmassa kulkeutuvan pihkan kondensoitumisen venttiilin pinnoille. Tätä ilmiötä tehostaa kuumen kuivausilman ja viileämmän korvausilman törmäyksestä aiheutuvat pyörteet. Tällaisissa olosuhteissa venttiilin sisäpinnoille alkaa kertymään tahmeaa likaa, mikä ajan myötä johtaa venttiilin siipimekanismin jumittumiseen. Venttiileillä on näin ollen havupuuta kuivaavissa tehtaissa korostunut huollontarve, kun siipisäätimet vaativat ajoittaista puhdistusta.

4.3 Kostutusjärjestelmä

Joissain tapauksissa viilu on lähtökohtaisesti niin kuivaa, ettei viilusta haihtuva vesi riitä kostuttamaan kuivausilmaa riittävästi. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi havupuun sydänpuusta sorvattujen viilujen kuivaaminen tai liian märäksi jääneiden viilujen uudelleenkuivaus. Vastaava tilanne voi esiintyä myös tilanteissa, joissa on tarpeellista ajaa kuivauslinjaa vajaalla kapasiteetilla esimerkiksi vähäisestä raaka-aineesta johtuen. Häiriöt kuivausprosessissa voivat johtaa kuivauslinjan pysähtymiseen, milloin kuivaajassa oleva viilu ylikuivuu ja kuivausilman kosteus laskee. Tällöin häiriön jälkeiset viiluerät kuivataan epäoptimaalisissa kosteusolosuhteissa, ellei kuivausilmaa kostuteta.

Kuten luvussa 2 todettiin, on viilun kuivaaminen kostealla ilmalla suositeltavaa verrattuna kuivaan ilmaan, koska tällöin kuivaaminen on energiatehokkaampaa ja tuottaa parempaa laatua. Tavallisesti viilusta haihtuva vesi riittää kostuttamaan kuivausilmaa riittävästi, mutta edellisessä kappaleessa esitetyissä olosuhteissa näin ei tapahdu. Kostutusjärjestelmä on siis tarkoitettu erityisesti alkukosteudeltaan kuivien viilujen kuivaamiseen, vajaalla kapasiteetilla kuivaamiseen, sekä kuivaajan olosuhteiden normalisointiin häiriötilanteen jälkeen.



Kuva 17: Vesikostutussuutin kuivauskennon sisältä katsottuna.

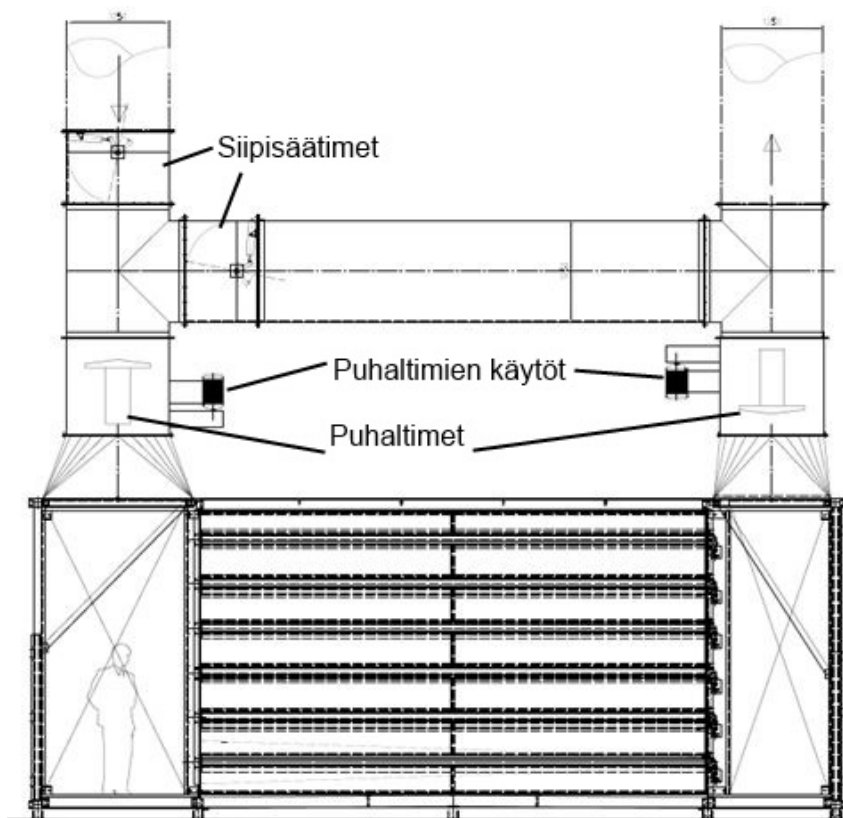
Kuivausilman kosteutta voidaan lisätä johtamalla prosessiin vettä tai vesihöyryä. Vesikostutuksessa vesi johdetaan kuivauskennoihin suutinten lävitse matalalla paineella. Vesi muodostaa hienojakoisen vesisuihkun, milloin vesi haihtuu nopeasti kuivaajan korkeassa lämpötilassa, eli muuttuu kuivausilman kosteudeksi. Kuvassa 17 on esitetty vesikuivaussuutin ja suuttimen muodostama vesisuihku. Vesikostutusjärjestelmässä voidaan kullekin kuivaajan kennolla asentaa oma suuttimensa, milloin kuivaussektoreiden, tai jopa yksittäisten kennojen, kosteutta voidaan ohjata yksilöllisesti.

Höyrykostutus on kuivausprosessin kannalta edullisempi vaihtoehto. Höyrykostutuksen kuivausilman lämpötilaa alentava vaikutus on vähäisempi kuin vesikostutuksella, koska tällöin ei tapahdu lämpöenergiaa sitovaa olomuodonmuutosta. Toisaalta höyrykuivauksen toteuttaminen edellyttää, että jostakin muusta tehtaan prosessista on johdettavissa höyryä kuivaajalle, sillä höyryn valmistaminen ainoastaan kuivausta varten ei ole taloudellisesti kannattavaa. Höyry ohjataan kuivaajaan rei'itettyä putkea pitkin ja kostutus on tasainen koko tämän putken pituudelta. Tällöin jos höyrykostutuksessa halutaan toteuttaa erillisiä ohjauksia kuivaajan eri sektoreihin, pitää kullekin ohjaukselle olla oma höyrypiirinsä.

4.4 Jäähdytysilman ohjaus

Jäähdytyskennoissa viilu viennetään jatkokäsittelylle sopivaksi. Jäähdytyskennojen toimintaa esiteltiin tarkemmin luvussa 4. Jäähdytysilman hallinnalla säädetään kuivauskennon ilmanpainetta ja kuivausilman lämpötilaa. Kuvassa 18 on esitelty jäähdytysilman hallintaan liittyvä putkisto ja vaadittava laitteisto.

Jäähdytyskennojen painetta ohjataan puhaltimien nopeuksia säätämällä. Jäähdytysilman ohjaus edellyttää painenatureiden asentamista jäähdytyskennoihin ja taajuusmuuttajien asentamista sähkömoottoreihin. Jäähdytyskennot pidetään yli-paineistettuna kuivaajaan kuumiin osiin verrattuna, jotta epäpuhtas kuivausilma ei kulkeutuisi jäähdytyskennoihin. Tämä saavutetaan pitämällä ilmasyöttöä suurempana kuin ilmanpoistoa, eli hidastamalla poistopuhallinta.



Kuva 18: Poikkileikkaus jäähdytyskennosta ja jäähdytysilman hallintaan tarvittavat laitteet. [2].

Jäähdytyskennojen lämpötilanhallinta on tarkoitettu olosuhteisiin, joissa ulkoilma on liian kylmää käytettäväksi jäähdytykseen. Mikäli jäähdytysilma on liian kylmää, jäätyvät viilut. Tällöin viilujen laatu kärsii, eivätkä viilut voi jatkaa seuraaviin prosessivaiheisiin ennen sulamista ja lämpenemistä. Lisäksi kuivauskennot itsessään viilenevät lähelle jäähdytysilman lämpötilaa, mikä erinäisiä ongelmia ulkoilman ollessa kylmää pakkasilmaa, kuten veden kondensoitumista kuivaajan pintaan, tehdasilman viilenemistä, ja niin edelleen.

Jäähdytysilman lämpötilan säätö voidaan toteuttaa takaisinkytkemällä ilmaa kuivaajasta poikkiputken avulla kuvan 18 mukaisesti. Tällöin annostelemalla siipisäätimillä sopivassa suhteessa jäähdytyksessä lämmennytta ilmaa ja ulkoilmaa saadaan syötettyä sopivan lämpöistä jäähdytysilmaa. Kuivausilman lämpötilan säätö voidaan toteuttaa myös, vaikka putkistossa ei olisi poikkiputkea. Tällöin ulkoilmaan sekoitettava ilma otetaan tehdasilmastasta siipisäätimen avulla. Haittapuoli tällaisessa ratkaisussa on tehdasilman alipaineistuminen syöttöputken lähistöllä, mikä aiheuttaa vetoa tehdashallissa.

4.5 Ruuhkantunnistus

Ruuhkassa ensimmäinen viilu takertuu johonkin kiinni kuivaajassa, milloin tätä seuraavat viilut törmäävät pysähtyneeseen viiluun ja sumppuuntuvat. Jotta ruuhkan aiheuttama vahinko olisi mahdollisimman pieni, tulisi ruuhka havaita mahdollisimman nopeasti. Raute Oyj:n tarjoamat ruuhkantunnistus -modulit perustuvat joko valokennoihin tai vaijeriin.

Valokennoilla toteutetussa ratkaisussa kuivaajan alku- ja loppupäässä olevat valokennot tarkkailevat, onko valokennojen kohdalla viilua. Koska kuivaajan nopeutta seurataan ja tiedetään kuivaajan pituus, voidaan alkupään valokennon keräämän tiedon avulla luoda kartta viilujen sijainneista. Jos viilua ei kuivaajan loppupäässä havaita tämän kartan osoittamalla hetkellä, on kuivaajaan muodostunut ruuhka.

Valokennoilla toteutettu ruuhkan tunnistus on toimintavarma, mutta ratkaisulla on selviä rajoitteita. Ruuhkan havaitseminen vasta puuttuvasta viilusta kuivaajan loppupäässä aiheuttaa järjestelmään viivettä, minkä takia ruuhka ehtii kasaantumaan. Tämän lisäksi ruuhkan sijaintia kuivaajassa ei voida tarkasti tietää tässä järjestelyssä. Näitä ongelmia hieman lievittää se, että ruuhkat keskittyvät kuivaajan loppupäähän, koska aaltoilua esiintyy kuivassa viilussa.

Ruuhkan tunnistus voidaan toteuttaa myös vaijerilla. Vaijeri kulkee kussakin kuivaustasossa hieman päällimmäisten telojen yläpuolella kuvan 19 mukaisesti ja vaijeri johdetaan (tavallisesti 24 V) jännite. Jos kuivaaja ruuhkautuu, päällimmäinen tela ruuhkan kohdalla alkaa nousta pakkautuneiden viilujen vaikutuksesta. Kun tela koskettaa vaijeria ja jännitelähteen miinusnapa on kytketty kuivaajan runkoon, muodostuu kuivaajan rungon kautta suljettu virtapiiri. Ruuhkahälytys tapahtuu, kun havaitaan sähkövirta.

Vaijerit ankkuroidaan toisesta päästään ja toisesta päästä kiristetään jousen avulla. Vaijerit alkavat ja päättyvät sektoriseinämiin, jotta hälytyksestä voidaan päätellä ruuhkautumispaikka. Lisäksi vaijerin pituus rajoitetaan kymmeneen metriin, jotta vaijereiden oma massa ei kasva liian suureksi.



Kuva 19: Ruuhkantunnistukseen käytettävä vaijeri kuivaajassa.

Vaijerilla toteutetun ruuhkantunnistuksen etuna on välitön hälytys ruuhkan muodostuessa. Lisäksi vaijereita voidaan asentaa kuivaajaan sektoreittain, milloin voidaan määrittää tarkemmin mihin kohtaan kuivaajaa ruuhka on muodostunut. Toisaalta vaijereiden ja kiinnikkeiden asentaminen kuivaajaan on työläämpää kuin valokennojen, minkä vuoksi vaijereihin perustuvan ruuhkantunnistuksen käyttöönottokustannukset ovat suuremmat.

4.6 Refeed –laite

Refeed –laite sijoitetaan kuivaajan ja kosteusmittarin välisen kuljettimen varrelle. Refeed –laitteen tarkoitus on syöttää viilupinkkaa kosteusmittaukseen ja lajitteluun ilman kuivausta. Tämä toiminnallisuutta käytetään pääasiassa liian märiksi luokiteltujen viilujen uudelleentarkistamiseen tasaantumisan jälkeen. Toisaalta refeed –laitteella voidaan myös lajitella sekalaisia viilupinkkoja tai tarkistaa uudelleen viilupinkka, josta on jäänyt laatu merkitsemättä tai jonka laatumerkintä on hävinnyt.

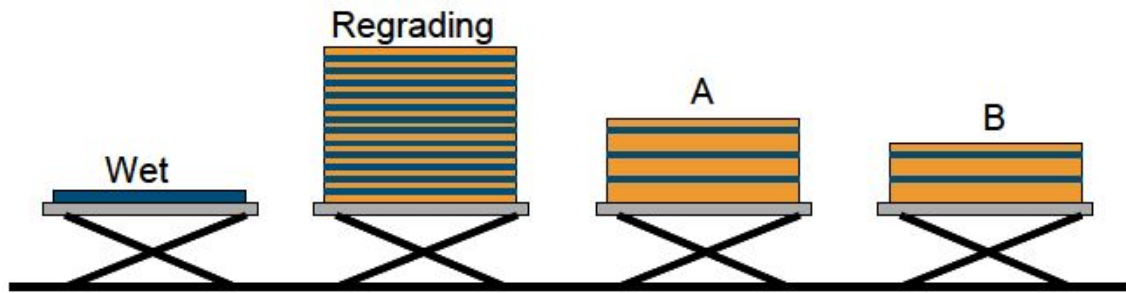


Kuva 20: Refeed –laite kuljettimen yllä. Taustalla viilunkuivaaja.

Refeed –laitteet voivat olla rakenteeltaan ja sijainniltaan hyvinkin erityyppisiä keskenään, mutta toiminnallisuudeltaan ne ovat samankaltaisia. Refeed –laitteessa on nostolava, tai muu nostolaite, jolle uudelleensyötettävä viilupinkka tuodaan trukilla. Nostolavalla pinkka nostetaan imulaitteelle, jonka avulla viilut irrotetaan pinkasta refeed –laitteen kuljettimelle. Tämä kuljetin on ainakin loppuosaltaan yhdensuuntainen pinkkarin kuljettimen kanssa ja kulkee sen yllä. Refeed –laitteen kuljettimelta viilut syötetään kuivaajan jälkeisen kuljettimen viiluvirran väleihin. Tällöin refeed –laitteen käyttö ei hidasta prosessia.

Tasaantumisella tarkoitetaan liian määräksi luokiteltujen viilujen seisottamista pinkassa. Kaksi vuorokautta on tyypillinen tasaantumisjakso. Liian märeksi luokitelluissa viiluissa kosteushuippu on usein paikallinen, milloin antamalla kosteudelle aikaa tasaantua viilupinkassa, laskee osassa viilusta kosteus hyväksyttävälle tasolle. Tasaannuttamalla saadaan kosteus 60 %:sta liian märeksi luokitelluista viiluista hyväksyttävälle tasolle [2]. Viilut, joiden kosteus ei laske hyväksyttävälle tasolle, joudutaan kuivaamaan uudestaan.

Alhaisimmaksi uudelleenkuivattavien viilujen määrä saadaan käyttämällä uudelleenluokittelukäytäntöä yhdessä sandwich -tekniikan kanssa (kuva 21. Sandwich -tekniikassa hieman liian kosteita, »sandwich -luokan», viiluja kasataan samaan pinkkaan kuivien viilujen kanssa. Tällöin voidaan luottaa kosteuden tasaantuvan pinkassa, eikä näin ollen kosteutta tarvitse mitata uudelleen. Sandwich -tekniikan käyttö edellyttää, että kosteusmittauksen tarkkuus on hyvä. Lisäksi sandwich -tekniikkaa voidaan käyttää tasaantumisjakson lyhentämiseen.



Kuva 21: Refeed -laitteen mahdollistama lajittelujärjestelmä. Uudelleenmitattaville viiluille on erillinen pinkka ja sandwich -tekniikkaa käytetään.

Refeed -laitteen käyttö parantaa kuivaajan kapasiteettia suoraan vähentämällä liian kosteiden viilujen määrää ja välillisesti mahdollistamalla tavoitekeskikosteuden nostamisen. Kun määräksi jäävien viilujen määrä pienenee, siirtyy tavoitekosteuden optimi kosteampaan päin. Tällöin kuivaajaa voidaan ajaa suuremmalla nopeudella, joka parantaa kuivaajan kapasiteettia ja energiatehokkuutta, sekä viilun laatu paranee ylikuivauksen vähentyessä.

5 Ketjukuljettimella varustetun non-stop –laitteen operaattorin puolen kiinnityksen muuttaminen portaattomaksi

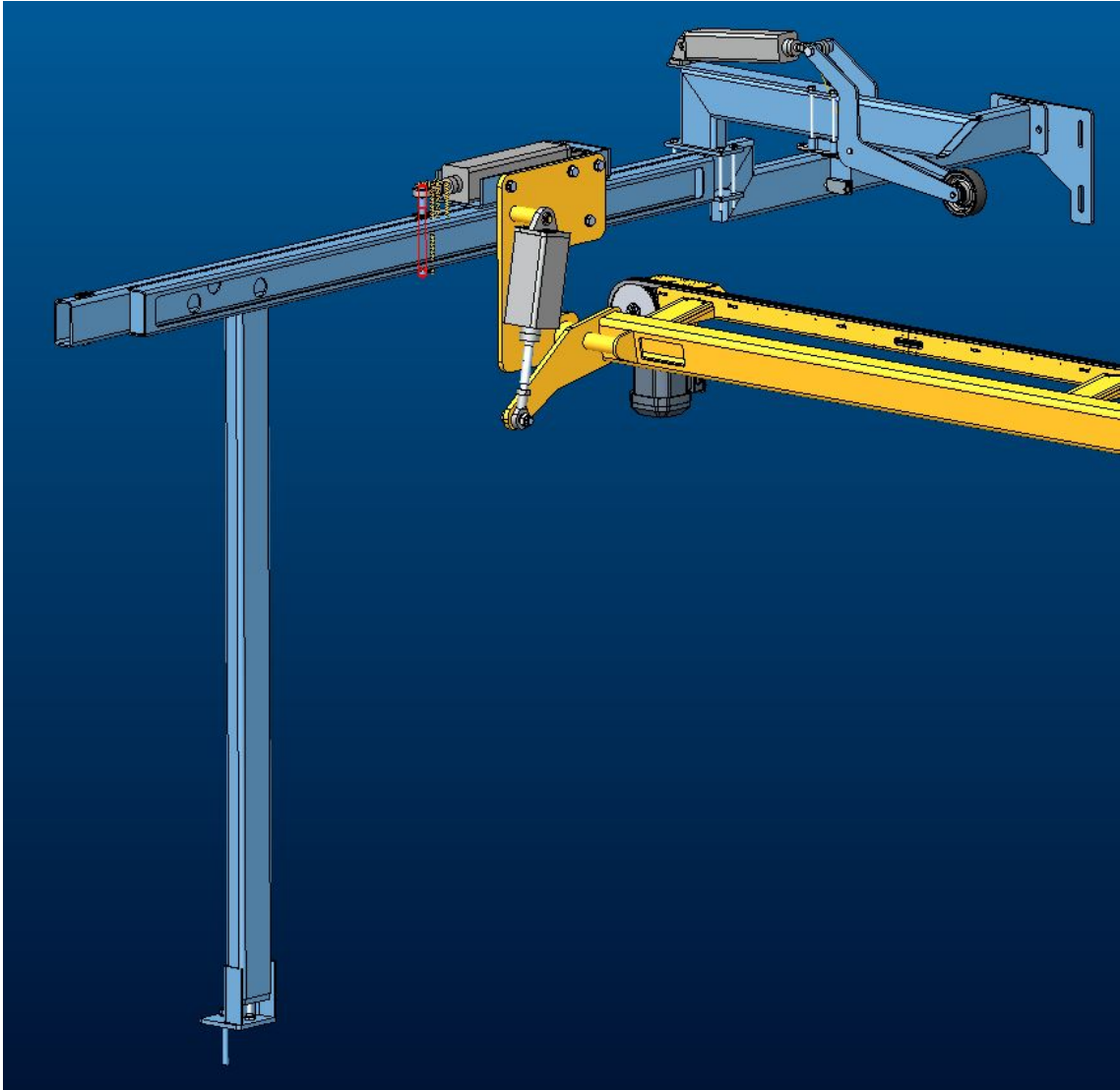
Non-stop –laite on verrattain yleinen modernisointimoduli. Non-stop –laitteella on suora vaikutus kuivaajan kapasiteettiin, mikä tekee non-stop –laitteesta asiakkaita kiinnostavan ja modernisoinnin hyödyt helposti todennettaviksi. Non-stop –laitteesta on käytössä esiintynyt parannuskohde, joka tässä työssä pyritään ratkaisemaan osa systemaattisen suunnittelumetodin VDI 2222 keinoin.

Kuten luvussa 4.1 esitettiin, eroavat aluslevyillisille ja -levyttömille pinkoille tarkoitetut non-stop –laitteet toisistaan rakenteellisesti. Koska aluslevyttömille pinkoille non-stop –laitteen puomiin ei tarvitse integroida kuljetinta, voidaan tällaisessa rakenteessa käyttää tukipuomeina vapaasti pyöriviä teloja. Tällöin non-stop –laite voidaan ohjata tukemaan pinkkaa kulmassa, kun telat pyörivät eivätkä siten vahingoita alinta viilua. Kuljettimella varustettu puomi täytyy puolestaan tuoda pinkan tueksi kohtisuorassa pintaa vasten, kun kuljetin ei luista poikittaissuunnassa.

Modernisointiprojekteissa vastaan tullut ongelma liittyy non-stop –laitteen operaattorin puoleisen kuljettimen puominsuuntaiseen liikkeen lukitukseen. Käytössä oleva lukitusmekanismi perustuu ennalta puomiin porattuihin reikiin, joihin puomi lukitaan tapilla. Käytössä oleva lukitusmekanismi on esitetty kuvassa 22. Ongelmaksi tässä rakenteessa on muodostunut reikien sijoittamisen haastavuus. Puomin reikien oikea sijainti riippuu pinkkojen pituudesta, johon vaikuttaa viilun pituuden lisäksi pinkan kasaamisesta aiheutuva hajonta, mitä on mahdotonta täysin luotettavasti ennakoita.

Puomin lukitus mahdollistaa non-stop –laitteen poikkipuomin siirron syöttölaitteen suhteen. Tällöin non-stop –laitetta voidaan käyttää eri pituisille viiluille, kun operaattorin puoleinen puomi saadaan siirrettyä viilupinkan pituuden edellyttämälle etäisyydelle syöttölaitteesta. Lukitus on siis aina päällä paitsi puomia siirrettäessä. Non-stop –laitteen puomistossa on olemassa laakerirulla- tai vaunujohde siirtoa varten. Työssä keskitytään laakerirullilla toteutettuun puomiratkaisuun.

Puomia täytyy siirtää viilun pituuden vaihtuessa. Tehtaissa, joissa kuivataan eri viilupituuksia, viilun pituutta saatetaan vaihtaa jokaisen pinkanvaihdon yhteydessä. Pinkan vaihtojen määrä riippuu tuotantoon liittyvistä tekijöistä: pinkan korkeudet, syöttönopeus, ja niin edelleen. Pinkan vaihtoja voidaan kuitenkin arvioida tapahtuvan $1 - 4 \frac{k_{pl}}{h}$, milloin puomin siirtoon kuluvalle ajalla on tuntuva vaikutus kuivaajan kapasiteettiin. Kuvatulla tappikiinnityksellä puomin siirtäminen ei ole kovin nopeaa, kun molemmiin puolin non-stop –puomistoa sijaitsevat tapit tulee ensin irroittaa, siirtää puomi manuaalisesti oikealle etäisyydelle syöttölaitteesta ja asentaa tapit takaisin paikalleen. Portaattoman säädön toinen tavoite onkin nopeuttaa puomin siirtoon kuluva aikaa.



Kuva 22: Non-stop laitteen operaattorin puolen pituussuntaisen liikkeen lukitusmekanismi alkutilanteessa.

Abstrahointi on osa VDI 2222 metodiikkaa. Abstrahoinnissa ongelman asettelu esitetään mahdollisimman abstraktissa muodossa vaatimuslistan välttämättömien ominaisuuksien pohjalta. Tällöin ongelmaan liittyvistä ennakkokäsityksistä ja tavanomaisista mielikuvista päästään eroon, mikä puolestaan mahdollistaa tuoreiden ratkaisuvaihtoehtojen synnyn ja ratkaisuvaihtoehtojen tasapuolisen arvostelun. Tässä tapauksessa ongelma voidaan abstrahoida seuraavasti:

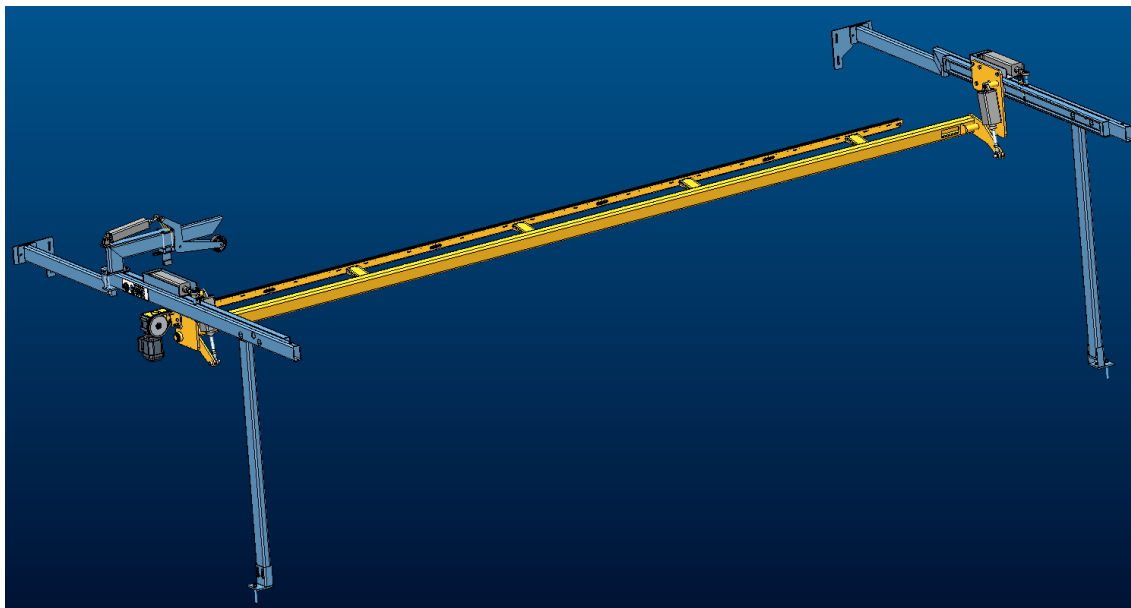
»On tarve ratkaisulle, jonka avulla non-stop -laitteen operaattorin puoleinen poikkipuomi saadaan lukittua halutulle etäisyydelle syöttölaitteesta nopeasti.»

Taulukko 1: Vaatimuslista puomin portaattoman lukituksen ominaisuuksille.

Vaatimus (V) / Toive (T)	Vaatimuslista puomin lukitukselle Toiminto:
V	Laite estää puomin liikkumisen puomin suuntaisesti kiinni-asennossa.
V	Käytettävissä vähintään 1300 mm liikealueelle.
T	Laite mahdollistaa puomin lukitsemisen portaattomasti liikealueen sisällä.
V	Lukituksen tarkkuus ± 5 mm.
V	Lukitus on käytettävissä useille viiluko'oilte.
V	Rakenne on muunnettuna sovellettavissa erilaisille puomi ja liukujohde –yhdistelmille.
T	Ratkaisu soveltuu erilaisille puomi ja liukujohde –yhdistelmille ilman muutoksia.
V	Laite ei olennaisesti heikennä puomiston rakenteellista lujuutta.
T	Laite ei edellytä muutoksia puomistoon.
V	Laite ei estä tai haittaa puomiin siirtoa laitteen ollessa auki-asennossa.
T	Laitteen lukitseminen ja avaaminen on vaivatonta
V	Lukituksen tulee kestää non-stop –laitteen toiminnasta aiheutuvat kuormitukset vaarantamatta pinkan tuentaa.

Taulukkoon 1 on koottu vaatimuslista puomin lukituksen ominaisuuksille. Vaatimukset laitteelle johtuvat pääosin halutusta toiminnallisuudesta ja laitteen sijainnista. Lukituksen tarkkuuden tulee olla ± 5 mm, joten porrastetuissa ratkaisuissa askelväli saa olla enimmillään 10 mm. Toivomuksena on kuitenkin portaaton lukitus. Laitteen tulee olla sovellettavissa erilaisille non-stop –laitteen puomiratkaisuille, eikä se saa merkittävästi heikentää puomin lujuutta.

Systemaattiseen suunnittelumenetelmään VDI 2222 kuuluvaa osatoimintoihin jakoa ei ole tässä tapauksessa mielekäästä tehdä, koska tapaus on oikeastaan puomin siirron osatoiminto. Näin ollen voidaan siirtyä suoraan ratkaisujen luonnosteluun ja edelleen luonnosten arvosteluun. Arvostelun perusteella kehitettävä ratkaisuluonnos valitaan. [16]

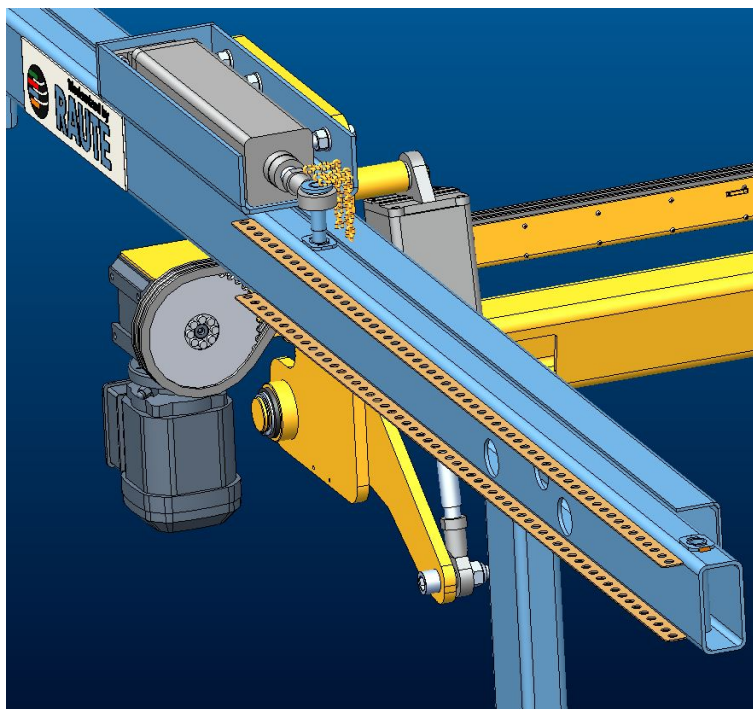


Kuva 23: Non-stop -laitteen operaattorin puoleinen puomisto. Havaittavissa laakerirullajohde. Pystypuomien välinen etäisyys on kuvassa 7 m, mutta voi vaihdella välillä 5 - 7 m.

Kuvassa 23 on esitetty puomisto, johon lukitus suunnitellaan. Lukitus pyritään kuitenkin suunnittelemaan soveltuvaksi muillekin puomirakenteille. Puomi, jolle lukituksen tulee soveltua on ontto suorakulmainen 60 x 120 x 5 mm S355J2H teräsprofiili. Kuljettimen pinkan alle johtavat pneumaattikkasylinterit sijaitsevat runkopalkin päällä kuvan 23 mukaisesti.

Vaatimusten perusteella on luonnosteltu neljä vaihtoehtoista ratkaisumallia, jotka esitellään seuraavissa kappaleissa. Luonnoksia ideoitiin yhdessä Rauten asiantuntijoiden kanssa. Mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja esiintyi luonnosteluvaiheessa useita. Tässä työssä on esitetty ominaisuuksiltaan lupaavimmat ja automaatiotasoltaan edustavimmat ratkaisuvaihtoehdot.

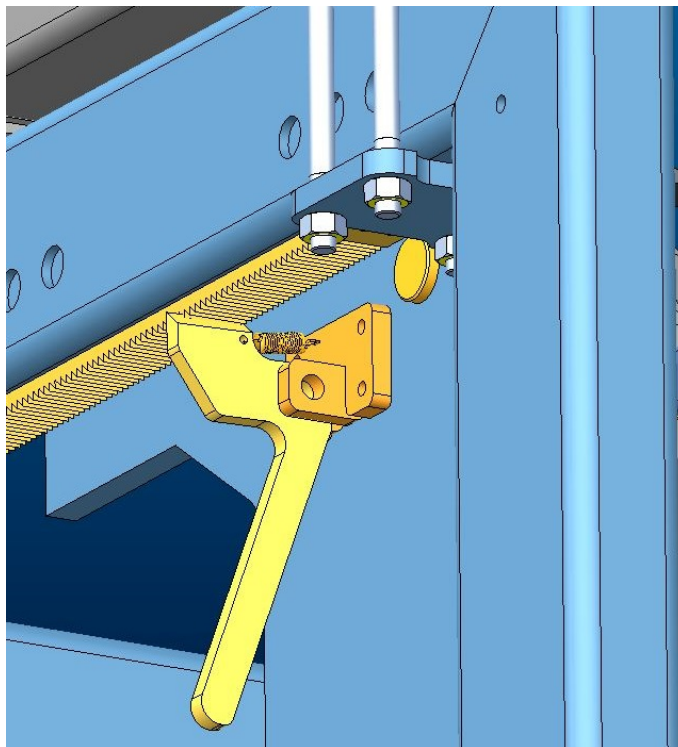
Luonnoksessa 1 on alkuperäistä tappilukitusta muokattu vastaamaan vaatimustalista. Työstämisen helpottamiseksi ja puomiston rakenteellisen lujuuden ylläpitämiseksi rei'itys porattaisiin toteutettaisiin erillisille teräslevyille, jotka kiinnitettäisiin puomistoon. Vaaditun 10 mm askelvälin vuoksi reikiä jouduttaisiin kuitenkin poraamaan useampaan riviin, minkä mahdollistamiseksi sylinterin kiinnitys tulisi suunnitella uudelleen.



Kuva 24: Luonnos 1: reikälevy ja tappi. Reikien halkaisija 12 mm ja reikäväli 25 mm.

Luonnos 2 on kehitetty versio porrastetusta säädöstä (kuva 25). Lukitus perustuu laserilla hammastettuun levyyn, jonka vastakappaleena on jousitettu salpa. Luonnoksen konseptiin kuuluu vivusto, jonka avulla lukituksen ohjaaminen johdettaisiin operaattorin läheisyyteen käytettävyyden parantamiseksi ja lukitusajan lyhentämiseksi. Hammastetulla levyllä päästään 3 mm askelväliin ongelmitta, joten lukituksesta saadaan tarkempi kuin luonnoksessa 1. Mahdollinen ongelmakohta ratkaisussa on lian kertyminen hammastukseen – erityisesti, jos hammastettu levy jouduttaisiin asentamaan puomin päälle.

Automaattinen lukitus voitaisiin toteuttaa kuvassa 26 esitetyn kaltaisilla pneumaattisilla lukituselementeillä. Lukituselementti on toiminnaltaan lyhytiskuinen (iskun pituus 3 - 5 mm) pneumaattinen sylinteri. Lukituselementit mahdollistavat portaattoman lukituksen toteutuksen. Pneumaattinen toimilaite edellyttää paineilman saatavuuden. Non-stop -laitteessa puomistoja siirretään pneumaattisilla sylintereillä, joten puitteet paineilman käyttöön ovat ennalta olemassa, eikä näitä täten tarvitse huomioida kustannuksissa.



Kuva 25: Luonnos 2: hammastetty levy ja jousitettu salpa. Luonnoksen konseptiin lukituskahvan johtaminen operaattorin puoleiseen puoleen vivuston avulla, mitä ei ole mallinnettu.

Käytön helppouden ja siirtoajan kannalta automaattinen puomin siirto ja lukitus olisi optimaalinen ratkaisu. Tämä voitaisiin toteuttaa pneumaattisten, hydraulisten tai sähkömagneettisten lineaariaktuaattoreiden avulla. Vaihtoehtoista hydraulinen ratkaisu on epäkäytännöllisin ja kallein, eikä tässä käyttötarkoituksessa ole tarvetta suurelle voimantuotolle, joka on hydraulikan suurin etu. Jäljelle jäävistä vaihtoehtoista pneumaattinen ratkaisu on edullisempi; sähköinen ratkaisu puolestaan nopeampi ja tarkempi. Hankintakustannukset kummassakin ratkaisussa ylittävät kuitenkin selvästi muiden luonnosten kustannukset, kun toimilaitteilta edellytettäisiin ohjauslogiikan lisäksi pitkää iskua ja kohtalaista voimantuottoa.



Kuva 26: Luonnos 3: pneumaattinen puristin. Kuvassa Feston EV sarjan pneumaattinen puristin.

Pneumaattisesti siirto voitaisiin toteuttaa sijaintitiedon keräävällä lineaariaktu-aattorilla, jolla on yli 1300 mm pitkä isku esimerkiksi Festo DDLI-40-1500-P. Toimi-laitteen lisäksi pneumaattinen piiri tarvitsee ohjausmoduulin, ohjattavan venttiilin ynnä muut lisävarusteet. Vastaavasti puomin siirto voitaisiin toteuttaa sähköisel-lä lineaariaktu-aattorilla, esimerkiksi LinMot P01-48x360F/1380x1530 vaadittuine lisävarusteineen.

Taulukko 2: Puomin liikkeen portaattoman lukituksen ratkaisuvaihtoehtojen pistear-viointi arvostelukriteereiden perusteella.

Arvostelu-kriteerit	Painokerroin	Vaihtoehto 1: Reikälevy & tappi		Vaihtoehto 2: Hammastettu levy, jousitettu lukitus ja vivusto		Vaihtoehto 3: Pneumaattiset puristimet		Vaihtoehto 4: Lineaariaktu-aattori	
		Arvo	Pain. arvo	Arvo	Pain. arvo	Arvo	Pain. arvo	Arvo	Pain. arvo
Tuotanto-kustannukset	0,3	9	2,7	7	2,1	6	1,8	2	0,6
Käytettävyys	0,1	4	0,4	8	0,8	9	0,9	10	1
Yksinkertainen ja toimintavarma toteutustapa	0,15	10	1,5	9	1,35	8	1,2	8	1,2
Lukituksen tarkkuus	0,15	5	0,75	6	0,9	8	1,2	10	1,5
Puomin siirtoon kuluva aika	0,3	4	1,2	7	2,1	8	2,4	10	3
Σ	1	32	6,55	37	7,25	39	7,5	40	7,3

Taulukkoon 2 on kerätty luonnosten arvostelukriteerit, näiden painokertoimet, luonnosten arviointi arvostelukriteereiden perusteella, vastaavat painotetut arvot, sekä arvojen ja painotettujen arvojen summat. Luonnokset on arvosteltu asteikolla 1-10, jossa arvo 1 kuvaa erittäin huonosti soveltuvaa ratkaisua ja 10 optimiratkaisua. Arvostelukriteereiden merkittävyyttä on arvoitettu painokertoimien avulla. Jatkokehitykseen luonnoksista valitaan parhaimman painotettujen arvojen summan saanut vaihtoehto.

Tärkeimmät kriteerit arvostelussa ovat tuotantokustannukset ja puomin siirtoon kuluva aika, jotka yhdessä vastaavat 60%:a arvostelusta. Laitteen tuotantokustannukset vaikuttavat suoraan asiakkaan hankintahintaan, jota vasten asiakkaat vertaavat laitteen tarjoamia ominaisuuksia. Toisaalta tuotantokustannukset vaikuttavat myös myyntikatteeseen, kun tuotteen hankintahintaa ei tarvitse polkea haluttavuuden lisäämiseksi. Puomin siirtoon kuluva aika puolestaan vaikuttaa pinkanvaihtojen viemään aikaan aina kun kuivattavan viilun pituutta muutetaan. Näin ollen puomin siirtoon kuluvalle ajalle on välitön vaikutus kuivaajan kapasiteettiin, jos tehtaassa kuivataan eri pituisia viiluja. Kapasiteetin maksimointi on modernisointien keskeinen tavoite.

Muut arvosteluperusteet ovat käytettävyys, yksinkertainen ja toimintavarma toteutustapa, sekä lukituksen tarkkuus. Käytettävyys kuvaa lukituksen käytön helpoutta operaattorille. Optimaalisessa ratkaisussa puomi siirtyy lähellä sijaitsevaa nappia painamalla oikeaan paikkaan kyseiselle viilunpituudelle. Yksinkertainen ja toimintavarma toteutustapa sisältää laitteen asennuksen helppouden, laitteen virheetöiminnan tai vikaantumisen riskitekijät, sekä huollon ja ylläpidon tarpeen. Optimiratkaisun toiminta on helposti havaittavissa, ei vaadi huoltoa ja on helppo asentaa. Lukituksen tarkkuus kuvaa nimensä mukaisesti lukituksen tarkkuutta käytössä. Porastetuissa järjestelmissä tämä tarkoittaa käytännössä lukituksen askelväliä. Luonnos 3 ei saa kategoriasta täysiä pisteitä, sillä edellyttää operaattorin siirtävän puomin manuaalisesti, milloin lukituksen sijaintiin aiheutuu inhimillistä virhettä.

Parhaan painotetun arvon luonnoksista saa vaihtoehto 3: pneumaattiset puristimet (7,5) ja näin ollen valitaan jatkokehitykseen. Luonnos saa kaikista kategorioista hyvät arvosanat pois lukien tuotantokustannukset, josta luonnos saa välttävän arvosanan. Luonnos 4 saa suuremman yhteispistemäärän (40) kuin luonnos 3 (39) ylivoimaisten käyttöominaisuuksiensa johdosta, mutta muihin luonnoksiin verrattuna moninkertaisen hintansa vuoksi luonnos saa erittäin huonot pisteet tuotantokustannuksista. Näin ollen luonnoksen 4 painotettu arvo (7,3) jää alle luonnoksen 3 vastaavan arvon. Huonoimman painotetun arvon (6,25) saa luonnos 1 hitaan puomin siirron, lukituksen huonon tarkkuuden ja heikon käytettävyyden johdosta. Luonnos 2 saa kohtalaiset arvosanat kaikista kategorioista ja yltääkin arvostelussa (7,25) melko lähelle luonnosta 4.

Arvostelun perusteella pneumaattisiin puristimiin perustuva lukitus valittiin jatkokehitykseen. Yksiselitteisen ratkaisun luomiseksi tulee suunnitella pneumaattisille puristimille kiinnityspaikat, vastapinnat puristukselle, lukituksen kiinnittyminen sylinteriin ja vaadittavien pneumatikkakomponenttien sijainnit. Ensiksi kuitenkin tulee mitoittaa pneumaattisten puristimien koko.

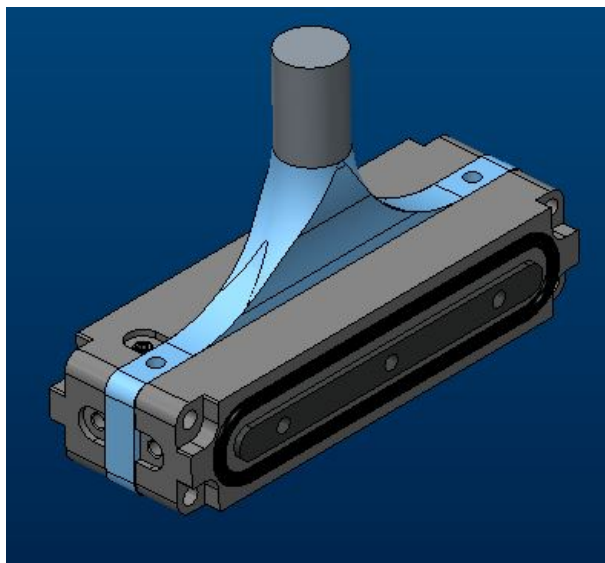
Halkaisijaltaan 80 mm olevien pneumaattisten sylintereiden tuottama teoreettinen maksimivoima 6 bar käyttöpaineella on työntäessä 3016 N ja vetäessä 2721 N. Käytännössä maksimivoimat ovat hyötysuhteen verran pienemmät. Lisäksi asennuksesta aiheutuu 65 mm mittainen momenttivarsi lukitukseen. Sylintereiden voimantuotto on sovelluksessa niin suuri, ettei lukituksen pieneltä luisumiselta voida välttyä kitkaan perustuvassa sovelluksessa. Sylinterin nopeus on kuitenkin rajoitettu vastusvastaventtiileillä ja sylintereissä on päätyiskujen vaimentimet, joten voimapiikit rajoittuvat kuorman kiihdytykseen ja ovat hetkellisiä. Mikäli luisuminen havaitaan

ongelmalliseksi, käyttöpainetta voidaan alentaa paineilmapiiirin paineenalennusventtiilillä tai puristimiin voidaan tehdä kitkakerrointa parantava päällyste. Luisumisen vaikutuksesta puristinten kontaktipinnat kuluvat nopeammin, minkä vuoksi on syytä käyttää korvattavia kulutuspintoja.

Vaikka liukumaa ei voida täysin estää, on parempi mitä suuremman liikettä vastustavan kitkavoiman lukitus pystyy tuottamaan. Tällöin lukituksen liukuma pysyy mahdollisimman pienenä. Asetetaan oletukseksi, että yhden puolen lukituksen tulee kestää lukituksen suuntainen 1,5 kN voima, joka on noin puolet sylintereiden maksimipuristusvoimasta. Puristimiin voi lisäosana tilata teräksisen kulutuspinnan, joiden käyttö on kuluttavan sovelluskohteen vuoksi välttämätöntä. Puristimien luistin runko on polyuretaania. Lukituksen ja kiskon välinen lepokitkakerroin monista tekijöistä (mm. pinnankarheudet, lämpötilat, pintojen puhtaudet), joten sen eksakti määrittäminen on hankalaa. Teräs-teräs materiaaliparille suuntaa antavaksi arvoksi voidaan käyttää $\mu = 0,7$. Tällöin vaadittu puristusvoima voidaan laskea yhtälöllä:

$$N = \frac{F_{\mu}}{\mu} = \frac{1,5 \text{ kN}}{0,7} \approx 2,1 \text{ kN} \quad (2)$$

Lukituksen yhdeltä puolelta vaadittu liikettä vastustava voima on 2,1 kN yhtälön 2 mukaisesti. Jos asennetaan kaksi puristinta per puoli, saadaan yhdeltä puristimelta vaadittu vähimmäisvoima $\frac{2,1 \text{ kN}}{2} \approx 1070 \text{ N}$. Tällöin riittävän voiman tuottava puristin on Feston valmistama EV-20/120-5.



Kuva 27: EV-20/120-5 pneumaattiset puristimet ja kiinnike.

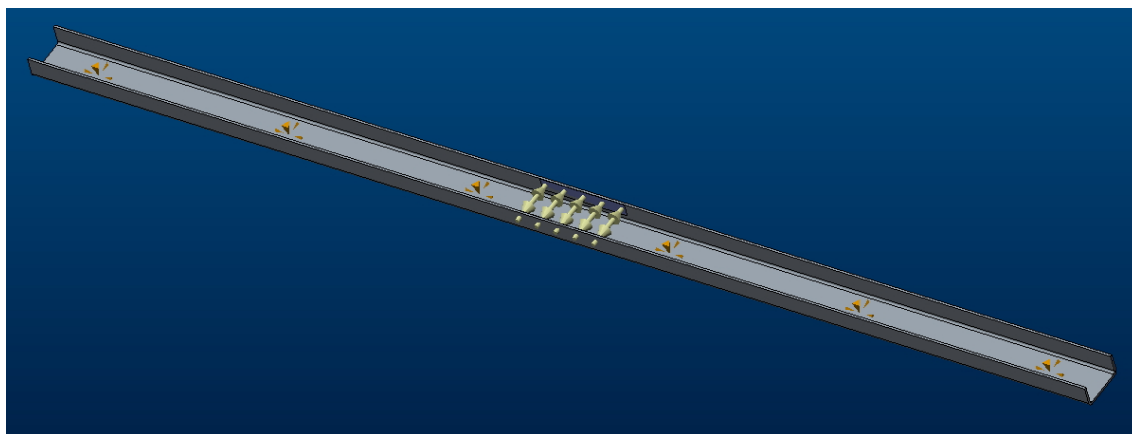
Kuvassa 27 on esitetty pneumaattiset puristimet ja näiden kiinnike. Kiinnikkeessä on lieriömäinen osa sylinterin pallonivelkiinnitystä varten. Lieriömäisen osan halkaisija on 20 mm ja sen pätyyn koneistetaan M20x1,5 -kierre vastakappaleita varten. Vastakappaleen avulla lukituksen luisti asennetaan riippumaan sylinterin akselista, jotta luisti ei laahaa kiskon pohjaa pitkin siirron aikana. Sylinteri puolestaan lepää kannakkeensa päällä – sylinterin toinen pää on kiinnitetty poikittaisella

tappikiinnityksellä, joka sallii pyörimisen pystysuunnassa.

Pneumaattisten puristinten kiinnike valmistetaan koneistamalla 20 mm kuuma-
valssatusta S355J2C+N teräslevystä. Puristinten kiinnittymiskohdan paksuus on 10
mm. Tätä paksuutta rajoittaa standardi u-profilien saatavuus. Jännityshuippujen
muodostumisen estämiseksi puristinten kiinnittymiskohdan ja lieriömäisen osion
välinen siirtymä on pyritty tekemään mahdollisimman sulavaksi. Luonnosteltu kiin-
nike on hankala koneistaa ja siten tuotantokustannuksiltaan kallis. Mahdollisuutta
valmistaa kiinnike 3D-tulostuksella tai hitsaamalla pyörötangosta ja levystä tulisi
tarkastella.

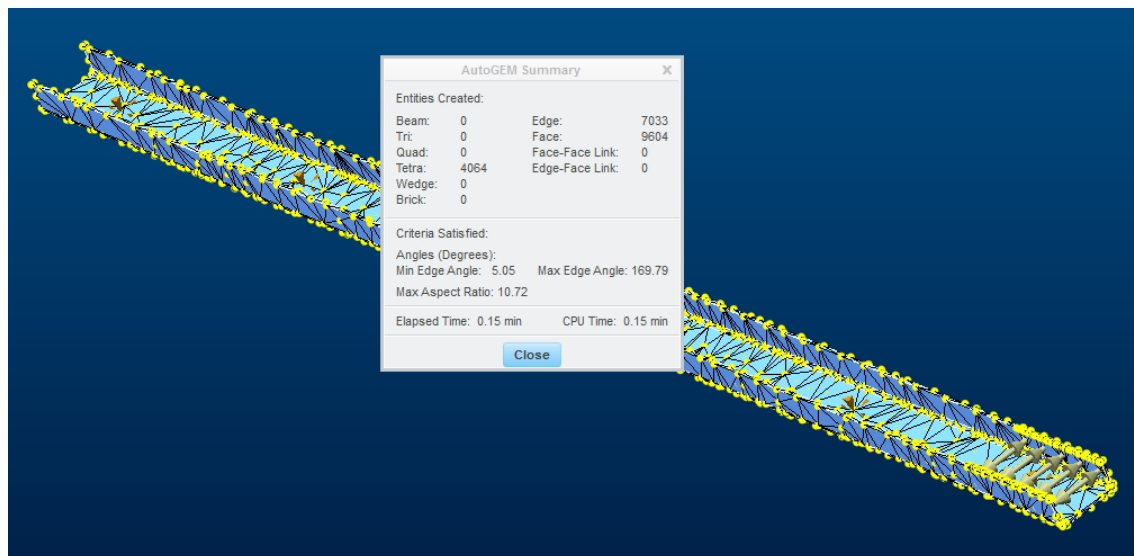
Lukituksen kiskon, eli puristuksen vastakappaleen, tulee olla kustannussyistä
standardikokoista. Lisäksi kiskon tulee mahtua runkopalkin ja sylinterin kiinnikkeen
väliin. Sylinterin kiinnikettä voidaan muuttaa siten, että palkin ja kiinnikkeen väliin
jää 34 mm. Tällöin kiskon korkeus voi olla enimmillään 30 mm. Valittujen puristinten
paksuus on 21,5 mm. Kun puristimia on kaksi kummallakin puolella, edellyttävät
jo pelkät puristimet 43 mm leveyden kiskolle. Puristimien lisäksi profilin leveyteen
tulee mahtua puristimien kiinnike ja hieman välystä, jotta luisti pääsee liikkumaan.
Mahdollisuutta käyttää teräs c-profilia tutkittiin, tämä kun olisi edullinen profiili
puristimista aiheutuvan taivutuksen suhteen, mutta tarkoitukseen soveltuvaa stan-
dardikokoja ei ollut saatavilla. Lopulta päädyttiin 60 mm x 30 mm x 3 mm S235JRG2
rakenneteräksestä valmistettuun u-profiiliin. Tämän teräsprofilin sovelluskohteeseen
riittävä lujuus todennettiin FEM-tarkastelulla.

Teräsprofiili kiinnitetään runkopalkkiin uppokantapulteilla ja muttereilla. Näitä
varten runkopalkkiin täytyy koneistaa kierrereiät. Uppokantapultteja käytetään, jotta
pulttien kannat eivät estä luistin liikettä. Hitsaamista vältetään kiinnitysmenetelmä-
nä, jotta hitsauksen aiheuttamilta mahdollisilta muodonmuutoksilta runkopalkissa
vältetään.



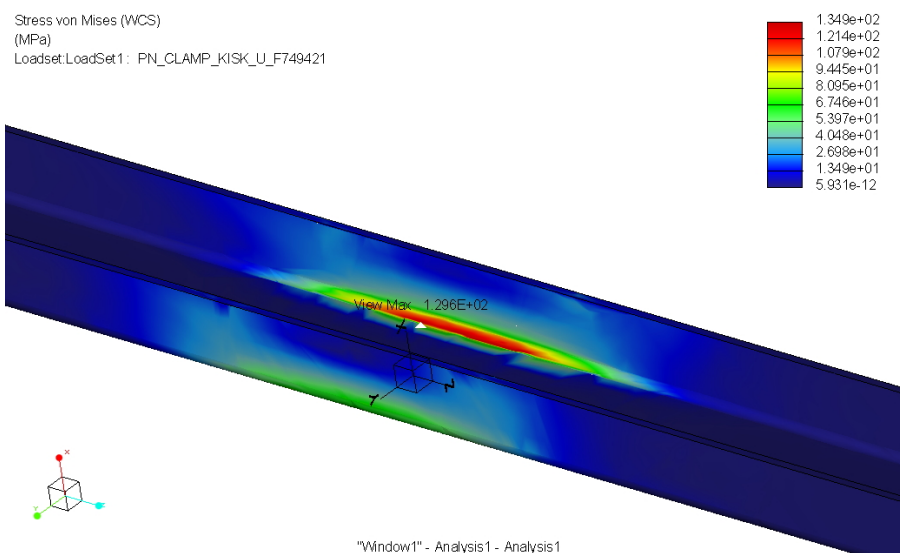
Kuva 28: FEM-tarkastelun kuormitustilanne. Teräsprofilin sisäpintaan kohdistuu molemmiin puolin 1100 N voima 120 mm x 20 mm alalle, mikä vastaa pneumaattisten puristinten aiheuttamaa kuormitusta 6 bar paineella. Profilin alapinta on mallinnettu kiinteäksi liitokseksi.

FEM-analyysia varten puristinten aiheuttama kuormitus teräsprofiliin mallinnettiin ja on esitetty kuvassa 28. Puristinten tuottama 1100 N voima kuvattiin vaikuttamaan tasaisesti puristimen alalle (120 mm x 20 mm) asennusta vastaavalle korkeudelle puristimen pinnasta. Materiaalivakioina käytettiin teräkselle: Poissonin vakio $\nu = 0,3$ ja kimmokerroin $E = 210$ GPa.

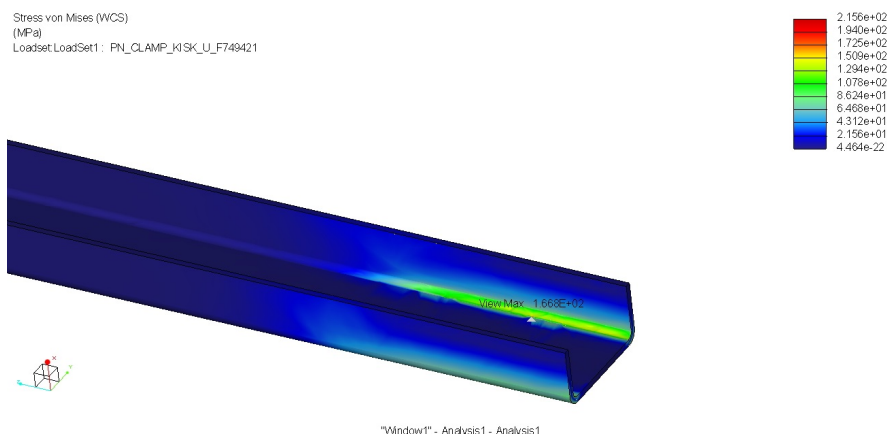


Kuva 29: Laskentaan käytetty elementtiverkko. Kuvassa luisti on kiskon päädyssä.

Tutkittavan kappale verkotettiin kolmiomaisilla elementeilla. Elementtiverkko ja sen ominaisuudet on nähtävissä kuvassa 29. FEM-tarkastelu toteutettiin kahdella kuormitustilanteella: luistin ollessa kiskon keskellä ja luistin ollessa kiskon päädyssä.

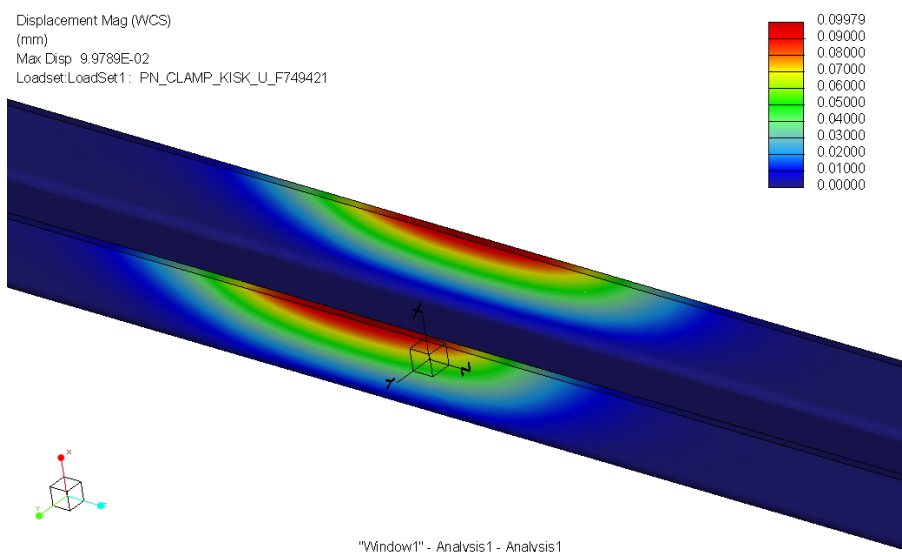


Kuva 30: Puristinten aiheuttama jännitys teräsprofiliin luistin ollessa kiskon keskellä. Jännityksen huippuarvoksi saadaan profiilin taitoskohdissa 130 MPa.

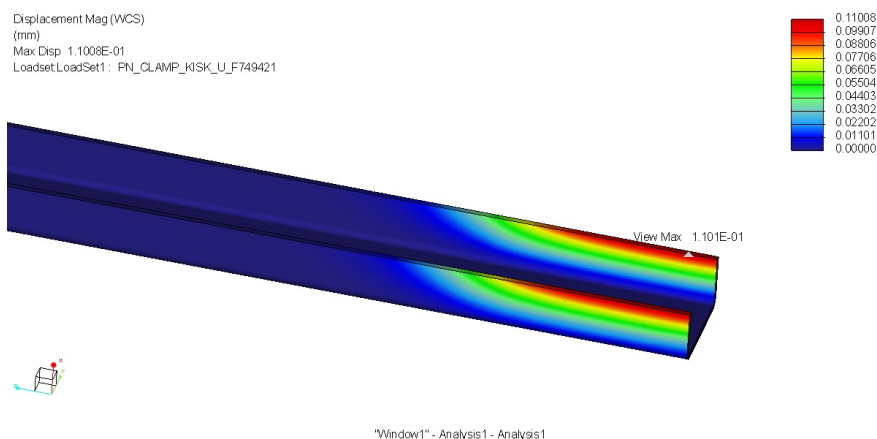


Kuva 31: Puristinten aiheuttama jännitys teräsprofiiliin luistin ollessa kiskon päädyssä. Jännityksen huippuarvoksi saadaan profiilin taitoskohdissa 167 MPa.

Kuvissa 30 ja 31 on esitetty kuormituksen aiheuttama jännitys jakauma kiskon keskellä ja kiskon päädyssä. Jännityskeskittymät muodostuvat teräsprofiilin taitoskohtiin. Saavutetut jännityshuiput, keskellä 130 MPa ja päädyssä 167 MPa, jäävät turvallisesti alle S235JRG2 rakenneteräksen myötörajan (235 MPa). Kuormituksen aiheuttamat muodonmuutokset pysyvät siis teräksen elastisella alueella, eikä pysyviä muodonmuutoksia tapahdu. Näin ollen teräsprofiilia voidaan käyttää sovelluskoh-teessa.



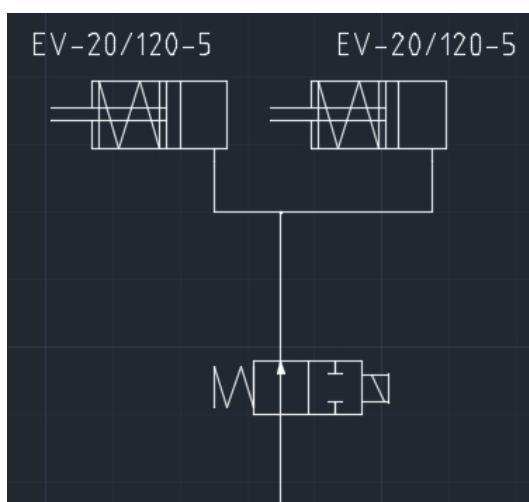
Kuva 32: Kuormituksen aiheuttamat siirtymät teräsprofiilissa luistin ollessa kiskon keskellä.



Kuva 33: Kuormituksen aiheuttamat siirtymät teräsprofilissa luistin ollessa kiskon päädyssä.

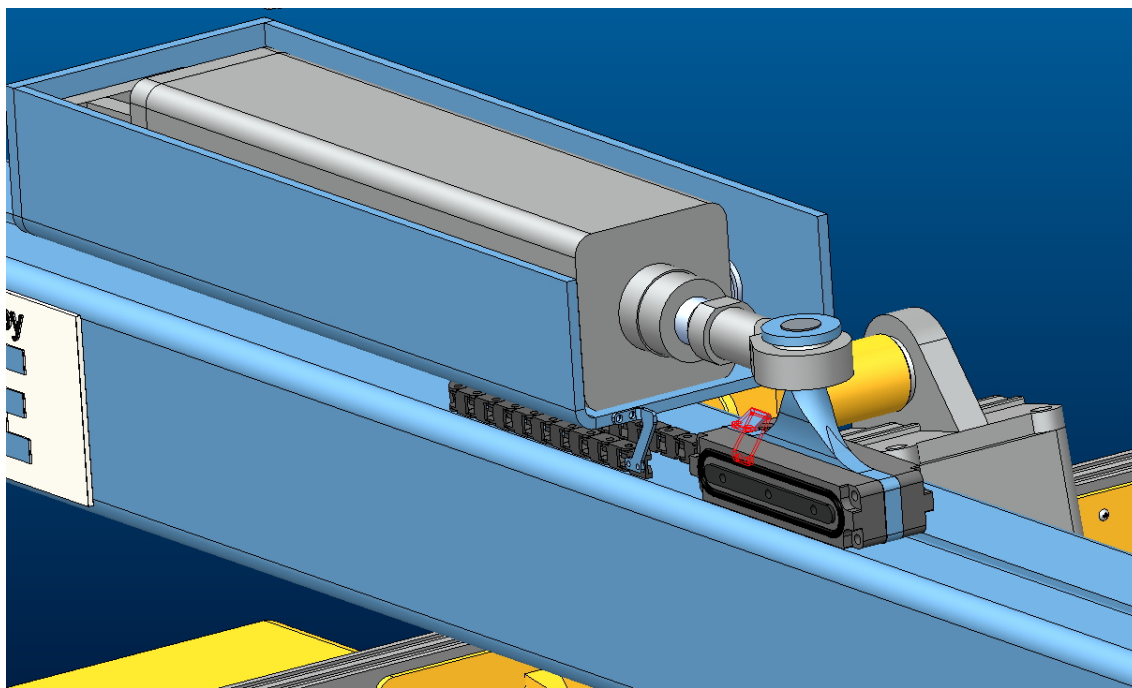
Jännitysten lisäksi tarkasteltiin kuormituksen aiheuttamia siirtymiä. Tarkastelun tulokset ovat nähtävissä kuvissa 32 ja 33. Vastaavasti kuin jännityksissä, aiheutuneet siirtymät ovat hieman suurempia kiskon päädyn ollessa kuormitettuna. Kuormituksen aiheuttamat siirtymät ovat enimmillään $110 \mu\text{m}$. Näin pienten siirtymien voidaan olettaa olevan merkityksettömiä lukituksen toiminnan kannalta.

Suunnittelussa pyrittiin välttämään muutoksia alkuperäiseen rakenteeseen, jotta portaaton lukitus olisi jälkiasennettavissa. Toimivaa rakennetta lukitukselle ei kuitenkaan saada toteutettua ilman pieniä muutoksia alkuperäiseen laitteeseen, mutta tavoitteessa jälkiasennusmahdollisuudesta pysyttiin. Työssä ehdotettu rakenne edellyttää muutoksia sylintereiden kannakkeisiin, sekä runkopuomistossa tappikiinnityksen läpivienteihin liittyvien kohotusten tasoittamista. Soveltamista muihin puomirakenteisiin täytyy tarkastella tapauskohtaisesti. Voidaan kuitenkin olettaa, että ratkaisu pystytään muunnettuna toteuttamaan muillekin puomirakenteille.



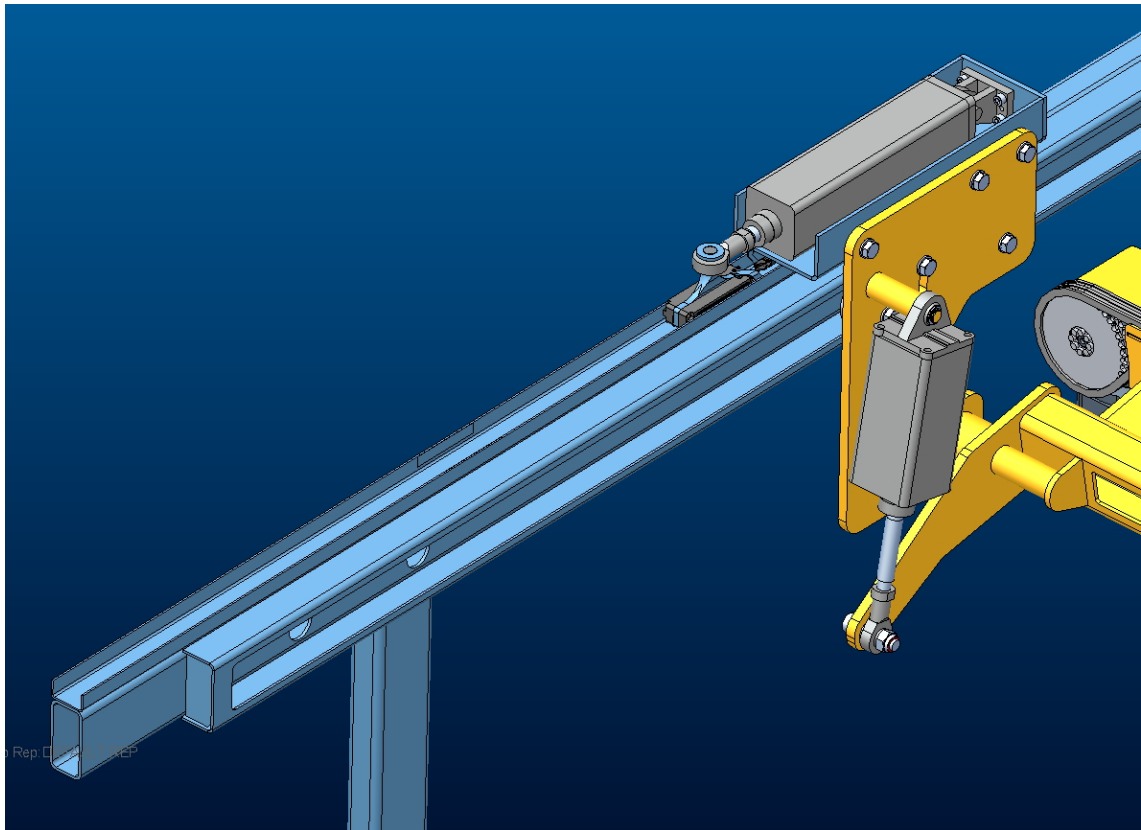
Kuva 34: Yhden puolen lukituksen edellyttämät lisäykset pneumatiikkapiiriin.

Toteutuksen edellyttämät pneumatiikkakomponentit ja lisäykset piiriin on esitetty kuvassa 34. Puristimia varten tarvitaan molemmin puolin 2/2-magneettiventtiili, T-liitin ja $\varnothing 4$ mm paineilemaletkua, sekä tarvittavat liittimet. Venttiilit voidaan asemoida samaan paikkaan sylinterien venttiilien kanssa. T-liitin, joka mahdollistaa yhden syöttöletkun johtamisen luistille ja tästä jakamisen molemmille puristimille, tulisi asentaa mahdollisimman lähelle puristimia letkutarpeen minimoimiseksi.



Kuva 35: Energiansiirtoketju ja energiansiirtoketjun kannakkeet pneumatiikkaletkujen siirtämiseksi pneumaattisille puristimille. Kuvassa kisko on piilotettu ketjun ja kannakkeiden sijainnin havainnollistamiseksi.

Pneumaattisten puristimien paineilemaletkut voidaan sylinterin kannakkeelle asti tuoda samaa reittiä kuin sylinterin letkut, joten reittiä ei tarvitse tässä erikseen määrittää. Sylinterin kannakkeelta letku tulee saada siirrettyä pneumaattisille puristimille sylinterin isku huomioiden. Mikäli letku laitettaisiin suojatta kulkemaan kannakkeelta puristimille, olisi letkun mahdollista jäädä luistin ja kiskon väliin puristuksiin puomia siirrettäessä syöttölaitteeseen päin. Tämän välttämiseksi kiskon sisälle asennetaan iskun mahdollistava energiansiirtoketju. Energiansiirtoketjulla tulee olla riittävän pieni taivutussäde, jotta se mahtuu kiskon sisälle. Lisäksi ketjulle suunniteltiin kannakkeet, joista toinen liitetään luistiin ja toinen sylinterin kannakkeeseen. Energiansiirtoketjua pitkin kulkee ainoastaan yksi $\varnothing 4$ mm pneumatiikkaletku, joten hyvin pieni ketju riittää. Soveltuvaksi energiansiirtoketjuksi valittiin 384 mm pitkä Igus E02 micro series 04. Energiansiirtoketju kannakkeineen on nähtävissä kuvassa 35.



Kuva 36: Portaaton non-stop –laitteen puomin siirto.

Edellä mainituista tekijöistä muodostettiin yksiselitteinen kokonaisratkaisu, joka on esitetty kuvassa 36. Luvun kehittelyyn liittyvä tarkempi tarkastelu suoritettiin vain kuvan mukaiselle puomirakenteelle, jossa puomin johde on toteutettu rullien avulla. Portaattoman säädön ratkaisu on sovellettavissa muunnettuna liukujohteella toteutettuun puomirakenteeseen. Rajoituksena on kuitenkin, että puomin suuntaisen sylinterin tulee kuitenkin sijaita runkopalkin yläpuolella.

6 Modernisointien lähtötiedot ja tarkistuslistoissa huomioitavat tekijät

Riittävät ja paikkansa pitävät lähtötiedot ovat onnistuneen suunnittelun lähtökohta ja siten edellytys modernisointiprojektin onnistumiselle. Tässä luvussa esitellään lyhyesti Rauten modernisointiprojektin kulku, käsitellään modernisointiprojektissa tarvittavia yleisiä lähtötietoja, sekä modernisointimodulikohtaisia lähtötietoja. Lähtötietojen lisäksi tässä luvussa kartoitetaan modernisointimodulikohtaisissa suunnittelun tarkistuslistoissa huomioitavat asiat. Tarkistuslistan tulisi olla sikäli täydellinen, että käymällä tarkistuslistan kohta kohdalta läpi tulisi modernisointimodulin olla suunniteltavissa ongelmitta.

Modernisointiprojekti lähtee liikkeelle asiakkaan halusta kehittää kuivauslinjan ominaisuuksia – erityisesti kuivaajan kapasiteettia. Asiakkaalla ei välttämättä ole käsitystä mahdollisista kehittämiskohteista tai modernisointimodulitarjonnasta. Tämän vuoksi ensimmäisen asiakaskäynnin tekee myyjä, joka esittelee asiakkaalle Rauten tuotteita, keskustelee asiakkaan kanssa modernisoinnin tavoitteista, sekä täyttää yhdessä asiakkaan kanssa lähtötietolomakkeen.

Seuraavaksi, ainakin uusille asiakkaille, suoritetaan kuivauslinjan auditointi. Auditoinnissa tarkastetaan kuivauslinjan yleiskunto, sekä seurataan kuivausprosessin kulkua. Näin saadaan tunnistettua kuivauksen ongelmakohtia, minkä perusteella voidaan esittää asiakkaalle parannusehdotuksia. Auditoinnin yhteydessä tarkistetaan myös, vastaako kuivaajaan liittyvä dokumentaatio todellisuutta. Koska kuivauslinjan elinkaari on pitkä, on kuivauslinjaan usein tehty erinäisiä muutoksia ja säätöjä, mitä ei ole välttämättä dokumentoitu riittävästi tai lainkaan. Sähköjärjestelmän muutoksista löytyy useimmiten dokumentaatiota, sillä piirikaavioiden päivittäminen on verrattain vaivatonta. Mekaanisia muutoksia puolestaan on harvemmin dokumentoitu, mikä aiheuttaa oman haasteensa modernisointimoduleiden tilavarausten kannalta.

Asiakkaan kanssa neuvotellaan havaituista parannusehdotuksista. Asiakkaan toiveiden perusteella tehdään tarjous modernisointiprojektista. Joissain tapauksissa, pääosin taloudellisista syistä, asiakas ei tahdo auditointia, milloin tarjous voidaan tehdä valokuvien perusteella. Huomattavaa on, että auditoinnin ja tarjouksen välillä voi olla pitkiäkin ajanjaksoja.

Kun asiakkaalta saadaan tilaus, tehdään mittausmatka kohteeseen. Mittausmatkaan osallistuvat sähkö-, automaatio- ja mekaniikkapääsuunnittelijat. Pääsuunnittelijat ovat perehtyneet linjaan liittyvään dokumentaatioon ja tehtaan layoutiin. Näiden pohjalta on laadittu alustava toteuttamissuunnitelma. Mittausmatkalla varmistetaan, että kaikki vaaditut tiedot on kerätty, alustava suunnitelma voidaan toteuttaa ja varmistutaan vielä kertaalleen dokumentaation oikeellisuudesta.

Kuivaajan modernisointimodulit voidaan jakaa asennustapansa perusteella layout- ja kuivaajasidonnonnaisiin moduleihin. Layout-sidonnoisissa moduleissa suunnittelua ohjaa laitteistojen asemointi ja vapaa tila tehtaassa. Layout-sidonnoiset modulit tarvitsevat vapaata tilaa ympärilleen; niille voi olla tarve kulkea trukilla ja ovat usein rajoitettuja linjasijaintinsa suhteen. Layout-sidonnoisia moduleita tässä työssä ovat

refeed- ja non-stop -laitteet. Kuivaajasidonnaiset moduulit kiinnittyvät kuivaajaan, eivätkä siten vaikuta linjan layouttiin. Kuivaajasidonnaisia moduleita ovat kostutusjärjestelmä, korvausilman hallinta, jäähdytysilman hallinta ja ruuhkan tunnistus.

Yleisiä lähtötietoja tarvitaan riittävän usein modernisointiprojekteissa, jotta ne on aiheellista selvittää jokaisen projektin yhteydessä. On siis mielekästä tehdä tiedonkeruun rungoksi yleiset kysymykset ja tämän lisäksi moduliikohtaiset lisäkysymykset, joita ei tarvita kuin kyseisen modulin suunnittelussa. Yleiset kysymykset voidaan jaotella vaikutuspiirinsä perusteella mekaaniseen suunnitteluun, prosessinohjaukseen ja tuotannollisiin tekijöihin. Osalla tekijöistä on vaikutusta useampaan kategoriaan. Vaaditut yleiset lähtötiedot on lueteltu ja luokiteltu taulukossa 3.

Taulukko 3: Yleiset lähtötiedot ja näiden merkitysalue suunnittelussa. M = mekaniikkasuunnittelu, P = prosessinohjaus ja T = tuotannolliset tekijät.

Lähtötieto	Merkitys
Kuivattavien viilujen koot (pituus, leveys, paksuus) ja näiden osuudet tuotannosta	M, P, T
Asemapiirustus (layout)	M
Märkäpinnan korkeus, pituus ja leveys enimmillään	M, T
Aluslevyjen tai kuormalavojen mitat, jos käytössä märkäpinkoissa	M
Kuivaustasojen leveys ja lukumäärä	M, T
Kuivaajan mitat	M
Linjan automaatiotaso	M, P, T
Lajittelupinkkojen määrä pinkkarilla	M, T
Kuivapinkkojen korkeudet, pituudet ja leveydet	M, T
Aluslevyjen tai kuormalavojen mitat, jos käytössä kuivapinkoissa	M, T
Puulaji	P
Viilujen alkukosteudet (ka., hajonta ja esilajitellut kosteusluokat)	P
Viilujen loppukosteudet (ka., hajonta ja liian märkien osuus)	P, T
Lämmitysjärjestelmä ja sen ominaisuudet	P
Kuivaajan nopeus	T
Seisonta-aikojen pituudet ja syyt	T
Asiakkaan arvio kapasiteetista	T

Mekaniikkasuunnittelun alle listatut lähtötiedot muodostavat yleiskuvan linjasta asemapiirustuksen ja tätä tarkentavien tietojen avulla. Nämä tiedot ovat välttämättömiä modernisointimoduleiden linjaan kiinnittymisen ja asemoinnin kannalta. Tehtaan automaatiotason avulla haarukoidaan, minkälaista modernisointia asiakkaalle on aiheellista esittää. Matalan automaatiotason tehtaalte ei esimerkiksi tarkka kuivausilman ohjaaminen ole tarpeellinen.

Prosessinohjauksen lähtötietojen avulla voidaan arvioida kuivausprosessia. Oleellisin tieto prosessinohjauksen kannalta ovat viilun loppukosteuksien hajonta, ja erityisesti liian kosteiden viilujen osuus. Liian märät viilut vaikuttavat suoraan kui-

vaajan kapasiteettiin, mutta toisaalta ylikuivaaminen heikentää viilun laatua. Viilun loppukosteuksien optimoiminen kuivauksen nopeuden ja märiksi jääneiden viilujen suhteen on kuivausprosessin ohjaamisen päätavoite.

Modernisointien tehtävä on tuottaa asiakkaalle lisäarvoa. Jotta tuotettu lisäarvo voidaan modernisoinnin lopuksi osoittaa asiakkaalle, täytyy lähtötiedoissa kerätä tietoa tuotannon alkutilanteesta. Lähtötiedoissa kysytään asiakkaan arviota kuivaajan kapasiteetista, mutta lisäksi kerätään tietoja joilla kapasiteetille voidaan määrittää laskennallinen arvo. Tämä tehdään yhtäältä, jotta voidaan varmistaa asiakkaan arvion oikeellisuus ja toisaalta, jotta voidaan arvioida yksittäisten tekijöiden vaikutusta kapasiteettiin. Lisäksi tuotannollisten lähtötietojen avulla voidaan esittää asiakkaalle modernisoinnin parannuslupaus, mikä konkretisoi modernisoinnin hyötyjä asiakkaalle.

6.1 Non-stop -laite

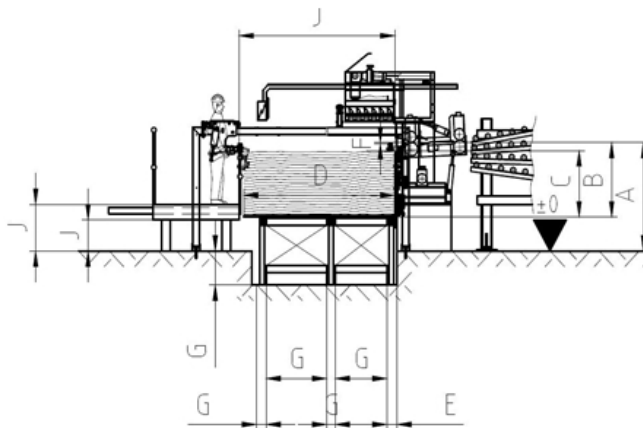
Non-stop -laite on riippuvainen sekä kuivaajasta, että layoutista. Non-stop -laite ei vaadi merkittävästi lattiapinta-alaa, mutta aluslevyjä tai kuormalavoja käytettäessä nämä tulee pystyä noutamaan trukilla non-stop -laitteen kasaamasta pinosta. Non-stop -laitteeseen vaikuttaa myös syöttölaitetta edeltävän kuljettimen tulosuunta. Yleensä kuljetin tulee toiselta sivulta kohtisuoraan syöttölaitteelle, milloin aluslevyt tai kuormalavat ohjataan kuljettimen vastaiselle sivulle. Harvoissa tapauksissa kuljetin saapuu syöttölaitteelle kuivaajan myötäisesti, mikä tekee non-stop -laitteen toteutuksen hyvin haastavaksi, koska non-stop -laitteen operaattorin puolen poikkipuomi estää uusien pinkkojen tuomisen syöttölaitteelle.

Non-stop -laitteen suunnittelussa tarpeellisia lähtötietoja, jotka kerätään yleisissä lähtötiedoissa ovat (kirjaimet lähtötiedon perässä viittaavat kuviin [37](#) ja [38](#):

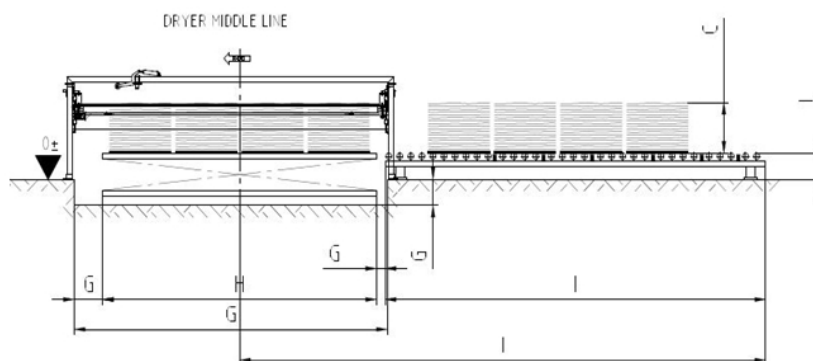
- asemapiirustus
- viilujen koot
- märkäpinkan enimmäiskorkeus (C)
- märkäpinkkojen pituudet (D. Jos kuivattavia viilun pituuksia on useita, kaikki pituudet tulee huomioida)
- käytetäänkö aluslevyjä tai kuormalavoja, jos käytetään niiden mitat
- kuivaustasojen leveys (H).

Näiden lisäksi non-stop –laitteen toteutukseen tarvitaan seuraavat tiedot, joista osa on havainnollistettu kuvissa 37 ja 38:

- syöttö- ja lattiataason välinen etäisyys (A)
- kuljettimen ja syöttötason välinen etäisyys (B)
- nostimen etulaidan ja syöttölaitteen välinen etäisyys (E)
- tarvittava korkeus kannateltavalle pinkalle (F)
- nostolavoihin ja nostolavojen mahdolliseen monttuun liittyvät mitat (G)
- kuljettimeen liittyvät mitat (I)
- hoitotason korkeus ja etäisyys syöttölaitteesta (J).



Kuva 37: Syöttölaitteen ympäristö sivulta katsottuna. Kirjainten selitykset yllä olevassa listassa.



Kuva 38: Syöttölaitteen ympäristö takaa katsottuna. Kirjainten selitykset yllä olevassa listassa.

Kuten kappaleessa 4 esitettiin, aluslevyjen käyttö vaikuttaa oleellisesti non-stop –laitteen rakenteeseen. Aluslevyjä käytettäessä non-stop –laitteen tukipuomeihin integroidaan ketjukuljettimet. Asemapiirustuksesta tarkistetaan, mahdollaanko non-stop –laite asentamaan paikalleen esteettä, tuleeko kuljetin syöttölaitteelle sivusta ja onko mahdolliselle aluslevypinolle esteetön kulku trukilla. Jos joku näistä ehdoista ei täyty, joudutaan ratkaisua miettimään tapauskohtaisesti.

Lähtötiedot ohjaavat non-stop –laitteen tukirungon mittoja. Rungon pystypuomin etäisyys syöttölaitteesta määräytyy pinkan enimmäispituuden mukaan, rungon korkeus määräytyy syöttökorkeuden perusteella ja non-stop –laitteen leveys kuivaustasojen leveyden perusteella.

On selvittävä mahdollaanko uusi pinkka tuomaan nostimille non-stop –laitteen ollessa toiminnassa. Tätä varten vähennetään pinkan maksimikorkeus (C) kuljettimen ja syöttötason välisestä etäisyydestä (B) ja tarkastetaan riittääkö tila non-stop –laitteen puomille ja puomin lepotilaan siirtävälle liikkeelle. Mahdolliset aluslevyt tai kuormalavat huomioidaan pinkan maksimikorkeudessa. Lisäksi tarkistetaan, että nostimen ja syöttölaitteen välissä (E) on riittävästi tilaa non-stop –laitteen syöttölaitteen puoleiselle puomille ja että syöttölaitteen puoleinen tukipuomi pääsee pinkan alle tukemaan pinkkaa.

Non-stop –laitteella kannateltavan pinkan korkeus täytyy olla riittävä, jotta näiden viilujen syöttämisen aikana ehditään nostolavat laskea ja uudet pinkat siirrettyä non-stop –laitteen alle. Kun tiedetään näihin toimintoihin kuluva aika, voidaan tänä aikana syötettävien viilujen määrä laskea kuivaajan nopeuden ja viilun pituuden avulla. Tästä saadaan edelleen tarvittava korkeus kannateltavalle pinkalle, kun kerrotaan tarvittava viilumäärä suurimmalla kuivattavalla viilunpaksuudella.

6.2 Kostutusjärjestelmä

Kostutusjärjestelmä on pääosin kuivaajasidonnainen moduli, joten linjan muita laitteita modulin suunnittelussa ei tarvitse huomioida. Kuivaajan ulkopuolisista tekijöistä moduliin vaikuttaa ainoastaan vesi- tai höyryverkon liitännän sijainti. Kostutusjärjestelmän toteutukseen vaaditaan seuraavat lähtötiedot:

- vesi- vai höyrykostutus
- mittapiirustus kuivaajasta
- liityntapisteen sijainti vesi- tai höyryverkkoon
- kosteusanturoinnin kattavuus ja kunto.

Oleellinen lähtötieto on toteutetaanko vesi- vai höyrykostutus, sillä näiden välillä on merkittäviä rakenteellisia ja toiminnallisia eroja. Vesi- ja höyrykostutuksen eroja käytiin tarkemmin läpi luvussa 4.3. Vesikostutus on kostutusjärjestelmistä yleisempi. Vesikostutus on järjestelmistä yksinkertaisempi ja näin ollen helpompi toteuttaa, mikä tarkoittaa asiakkaalle pienempää investointia. Höyrykostutuksen etuna on sen parempi energiatehokkuus vesikostutukseen verrattuna.

Keskeinen lähtötieto kostutusjärjestelmää suunnitellessa on liitäntäpiste, josta kostutusjärjestelmä liitetään vesi- tai höyryverkkoon. Vesikostutuksessa tulee suunnitella runkoputken reitti liitäntäpisteeltä kuivaajalle ja tästä koko kuivaajan pituudelle. Samalla tulee varmistaa, että runkoputkelle, suuttimille ja nämä yhdistäville letkuille on riittävästi tilaa. Toisaalta vesikostutuksen runkoputki ei ole halkaisijaltaan järin suuri, joten vesikostutus ei edellytä kovin suurta tilavarausta ja putki on suhteellisen helposti taivuteltavissa mahdollisten esteiden ohi. Höyryputki puolestaan kulkee kuivaajan sisäpuolella. Höyrykostutusta varten putken läpivientikohtien toteutus, höyryputken reitti ja höyrypiiri tarvittavine venttiileineen tulee suunnitella.

Vesikostutuksessa tulee huomioida mihin kennoihin suutin asennetaan. Suuttimen asentaminen kaikkiin kuivaajan kennoihin ei ole välttämätöntä, sillä kuten luvussa 2 osoitettiin, vapautuu kuivaajan keskisektorilla viilusta riittävästi kosteutta lähes kaikissa tilanteissa. Höyrykostutuksessa kostutusta ei voida ohjata suutinkohtaisesti, kuten vesikostutuksessa. Kun höyrykostutus on päällä, kostuttaa järjestelmä järjestelmä tasaisesti koko höyryputken pituudelta. Tällöin, jos höyrykostutuksessa halutaan toteuttaa erillisiä kostutusasetuksia, pitää kullekin kostutussektorille rakentaa oma höyrypiirinsä.

Edullisin sijainti kuivaajan kostutukselle on puhaltimen ja lämpöpatterin välissä. Tällöin kostutettu ilma kulkee ensin lämpöpatterin läpi, milloin kostutuksen lämpötilaa alentava vaikutus saadaan minimoitua viilun pinnalla. Vesikostutuksen läpivientien ja suutinten asennus on suoraviivaisempaa, kun ne sijaitsevat jokaisessa kennoissa samassa kohdassa. Tämän vuoksi on edullista valita läpivientien paikat siten, ettei missään kennossa ole esteitä kyseisessä kohdassa.

6.3 Poisto- ja korvausilman ohjaus

Poisto- ja korvausilman ohjaukseen liittyvät modernisoinnit ovat kuivaajasidonnaisia, eli niiden toteutukseen vaikuttavat vain kuivaajan mitat ja ominaisuudet. Kuitenkin joitakin poistoilmaputkistoon liittyviä tekijöitä tulee huomioida. Jos modernisointi edellyttää putkiston muutosta, tarvitaan putkistosta tarkempaa tietoa. Modulin toteuttamiseen tarvittavat lähtötiedot ovat:

- mittapiirustus kuivaajasta
- poistoilmalähtöjen sijainnit
- poistoilmaputkien halkaisijat
- olemassa oleva anturointi ja lisäänturoinnin tarve
- poistopuhaltimen sähkömoottorin tiedot
- jos putkiston muutos kuuluu modernisointiin, tarvitaan lisäksi:
 - poistoilmaputkiston mittapiirustus
 - putkien seinämävahvuudet
 - putken eristeet ja eristyskerroksen paksuus

Poisto- ja korvausilman hallinnan suunnittelussa tarkistettavat asiat ovat:

- Kennot, joihin korvausilmaventtiilit asennetaan (selvitetään simulaation avulla).
- Korvausilmaventtiilien vakiopaikan soveltuvuus modernisoitavaan kuivaajaan (koko ja paikka).
- Poistoilmakanaviston ja mahdollisten korvausilmaventtiilien siipisäätimien kunnnot.
- Poistoilmapuhaltimen kunto ja tehon riittävyys.
- Anturoinnin riittävä kattavuus.
- Putkiston muutoksen yhteydessä tulee huomioida:
 - uusien läpivientien sijainnit
 - putkiston uuden reitin esteettömyys
 - vanhojen läpivientiaukkojen tukkiminen.

Modernisoinnin yhteydessä voi esiintyä tarve poistoilmaputkiston muutokselle. Tarve muutokselle voi johtua esimerkiksi kuivaajan pituuden muutoksesta tai alkuperäisten paikkojen epäedullisuudesta kosteuden jakautumisen kannalta. Kuivaajaa voidaan modulaarisen rakenteensa ansiosta pidentää melko helposti lisäämällä siihen kennoja, mutta tällöin myös kuivausilmaan liittyvät tekijät tulee huomioida. Kuivausilman kosteus kulkeutuu kuivaajassa korvausilman sisäänotosta poistoilmakanavia kohden ja lisäksi suurin osa viilun kosteudesta vapautuu kuivaajan keskisektorissa. Tällöin jos poistoilmakanavat sijaitsevat liian kaukana kuivaajan päädyistä, ei kosteutta kuivaajan päädyissä voida ilmavirran avulla tasata. Tällöin vaihtoehtoiksi jäävät poistoilmaputkiston muuttaminen tai jatkuva kostutus, mikä on energiatehokkuuden kannalta huono ratkaisu.

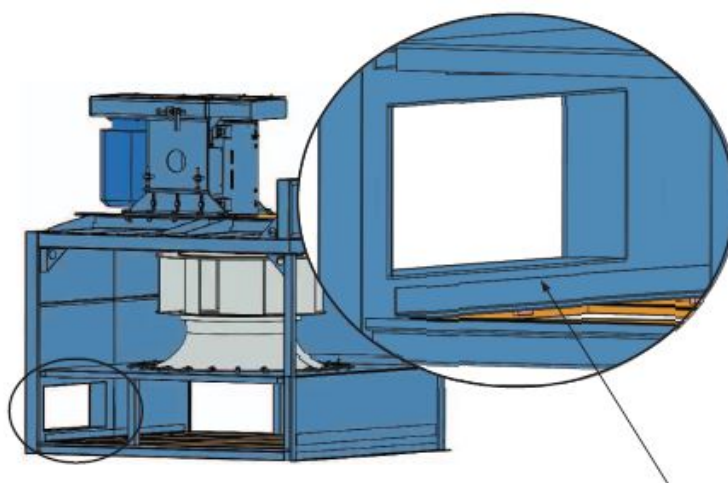
Tuntemalla lähtötiedoissa kerättyjä ominaisuuksia viilusta, täyttöasteesta ja kuivaajasta, voidaan kuivaajan kosteusjakauma simuloida. Simuloinnin avulla voidaan muun muassa määrittää kennot, joihin korvausilmaventtiilit kannattaa sijoittaa. Korvausilmaventtiilien paikat saadaan määritettyä optimoimalla simulaation avulla kuivaajan kosteusjakauma mahdollisimman tasaiseksi.

Kuten luvussa 4.2 todettiin, korvausilmaventtiileille tulee työstää reikä kuivaajan kylkeen imukartion alapuolelle. Suunnittelussa tulee tarkistaa, että tämä 800 mm x 300 mm kokoinen (tai vaihtoehtoinen 800 mm x 200 mm) reikä mahtuu vastavaan paikkaan kuin kuvassa 39. Samalla tarkistetaan vakiosijainnin soveltuvuus, joka on sivusuunnassa noin 100 mm kennon reunasta ja pystysuunnassa yläpuolen kulmaraudasta 300 mm alaspäin. Oletetaan ilmankierron olevan toteutettu radiiaalipuhaltimella, kuten kuvassa 39. Mikäli puhallus on toteutettu jollakin toisella tavalla (esim. aksiaalipuhaltimella) tai venttiiliä ei voida asentaa vakiopaikalle, tulee korvausilman hallinta miettiä tapauskohtaisesti.

Poistoilmaputkistossa on keskuspuhallin ja poistoilman määrää ohjataan poistoilmalähtöjen yhteydessä sijaitsevilla siipisäätimillä. Korvausilmaa ohjataan vastaavasti

siipisäätimien avulla. Modernisoinnin yhteydessä tulee varmistaa, että poistoilman puhallus on riittävä, siipisäätimien ja puhaltimen toimilaitteet ovat ehjät ja siipisäätimet toimivat ohjaussignaalin mukaisesti. Puhallusta voidaan tehostaa asentamalla sähkömoottoriin taajuusmuuttaja, mikä mahdollistaa lisäksi puhalluksen nopeuden ohjaamisen. Tarvittaessa vialliset tai alitehoiset laitteet korvataan.

Anturoinnin riittävyys tulee tarkistaa suunnittelun yhteydessä. Tähän kuuluvat olemassa olevan anturoinnin kattavuuden ja kunnan tarkastaminen, sekä muutoksista johtuvan lisäanturoinnin tarpeen huomioiminen. Poisto- ja korvausilmaan liittyviä antureita ovat poistoilmaputkiston paineanturi, sekä poistoilmalähtöjen yhteydessä kosteus- ja lämpötila-anturit. Lisäanturoinnille pitää suunnitella läpivientipaikat ja -laikat.



Kuva 39: Kuivaajaan työstettävä reikä korvausilmaventtiiliä varten.

6.4 Jäähdytysilman ohjaus

Jäähdytysilman hallinnan modernisoinnit keskittyvät jäähdyttimen paineenhallinnan tai lämpötilasäädön toteutukseen (ks. luku 4.4). Paineenhallinnan toteutus edellyttää taajuusmuuttajien ja paineantureiden asennusta. Jäähdytysilman lämpötilasäädön jälkiasennus toteutetaan tavallisesti syöttöilmaputkeen asennettavalla siipisäätimellä. Vaihtoehtoinen toteutustapa tarvitsee jäähdytysilmaputkistossa olevan poikkiputken, kuten kuvassa 18. Jälkiasennuksena tämä edellyttäisi putkiston muutosta.

Jäähdytysilman hallinnan suunnitteluun tarvitaan seuraavat lähtötiedot:

- Kuivaajan mittapiirustus
- Jäähdyttimen putkistopiirustus
- Puhaltimien sähkömoottoreiden tiedot

Mittapiirustuksen avulla suunnitellaan antureiden läpivientien sijainnit. Tässäkin tapauksessa on asennuksen kannalta edullista, että läpiviennit sijaitsevat kennoissa

yhtenevästi. Paineanturoinnin yhteydessä tulee varmistaa läpivientipaikkojen esteettömyys ja oikea läpiviennin toteutus, eli sopiva läpivientiputki, tiivishitsaus ja hitsisaumojen suojamaalaus. Taajuusmuuttajien mitoittamiseksi tulee tietää puhaltimien tehot, sekä käyttötaajuuudet ja -jännitteet.

Kuten poisto- ja korvausilman ohjauksessa, on jäähdytysilman ohjauksen modernisoinnin yhteydessä tärkeää tarkastaa alkuperäisen laitteiston kunto. Huonokuntoiset laitteet tulee korvata uusilla.

6.5 Ruuhkan tunnistus

Valokennoihin ja vaijeriin perustuvat ruuhkantunnistukset eroavat toiminnaltaan merkittävästi. Näin ollen niiden suunnitteluun tarvittavat lähtötiedot ja suunnittelun aikana tarkistettavat asiat eroavat toisistaan. Vaijerit kulkevat kuivaajan läpi kussakin kuivaustasossa, kun valokennot asennetaan vain kuivaajan alku- ja loppupäähän.

Valokennoilla toteutettavan ruuhkantunnistuksen toimintaan tarvitaan havaintotieto viuluista kuivaajan alku- ja loppupäästä, sekä tieto kuivaajan nopeudesta. Valokennoja tulee olla kuivaajan molemmissa päissä yhtä monta kuin kuivattavia viiluarkkeja on enimmillään rinnakkain. Rinnakkain kuivattavien viilujen enimmäismäärä voidaan laskea kuivaajan työleveyden ja kuivattavien viilukokojen perusteella. Lisäksi tarvitaan anturointi kuivaajan nopeudelle, mikä on useimmiten ennalta asennettuna.

Valokennoilla toimivan ruuhkantunnistuksen logiikan toteuttamiseksi tarvitsee lisäksi tuntea kuivaajan pituus ja kuivaustasojen määrä. Tietojen avulla voidaan muodostaa binäärinen kartta viilujen oletetuista sijainneista kuivaajassa. Valokennoilla toteutetun ruuhkantunnistuksen lähtötiedot voidaan koota seuraavasti:

- kuivaajan työleveys
- viilukoot
- kuivaajan pituus
- kuivaustasojen määrä.

Vaijerilla toimivan ruuhkantunnistuksen toteuttamiseksi tarvitaan seuraavat lähtötiedot:

- kuivaajan mittapiirustus, josta ilmenee ainakin:
 - kuivaustasojen määrä
 - kuivaustasojen etäisyys toisistaan, telojen halkaisijat, ynnä muut kuivaustasoihin liittyvät mitat
 - sektoreiden pituudet.

Mittapiirustuksen avulla suunnitellaan vaijereiden kulkureitti kuivaustason suhteen, ankkurointien ja jousien sijainnit, vaijereiden jaottelu kuivaussektoreiden sisässä, vaijereiden sähköliitännät ja sähköeristykset. Vaijerin tulee kulkea mahdollisimman

lähellä teloja, jotta ruuhka havaitaan mahdollisimman aikaisin. Toisaalta yksittäiset vaijerit kulkevat kuivaajassa useiden metrien mittaisia matkoja, joten ne tulee saada kireiksi roikkumisen estämiseksi. Vaijerin toiseen päähän asennetaan vaijerin kiristävä jousi ja toinen pää ankkuroidaan kuivaajan runkoon. Ruuhkantunnistuksen toiminta edellyttää vaijerin sähköeristämistä kuivaajan rungosta. Lisäksi tulee tarkistaa, ettei kuivaajassa mikään voi osua vaijeriin ja aiheuttaa vääriä hälytyksiä.

Vaijeri vaihdetaan aina kuivaajan sektorirajoilla, kuten kappaleessa 2 todettiin. Tämän lisäksi vaijereiden maksimipituus rajoitetaan, jottei vaijerin oma massa kasva liian suureksi. Tämän vuoksi kuivaajan pisimmissä sektoreissa tulee käyttää useampaa vaijeria. Kukin vaijeri tarvitsee oman sähköliitännänsä, jolla vaijeri saadaan jännitteelliseksi. Sähköliitännöille tulee suunnitella läpiviennit. Sähkökaapelin tulee kestää kuivaajan sisällä vallitsevia olosuhteita, eli ainakin korkeaa lämpötilaa ja kosteutta.

6.6 Refeed-laite

Refeed –laite on täysin layout sidonnainen, eikä laite lähtökohtaisesti liity mekaanisesti linjaan. Toisaalta refeed –laite vaatii paljon lattiapinta-alaa ja lajiteltavat pinkat kuljetetaan refeed –laitteelle trukilla. Refeed –laitteen kuljettimen pitäisi päättyä melko lähelle pääkuljetinta, että viilujen siirto refeed –laitteelta lajittelulinjaan onnistuu häiriöttä. Refeed –laite voidaan asentaa ainakin: a) risteysaseman viereen kuljettimen vastaiselle puolelle, milloin refeed –laitteen kuljetin kulkee risteysaseman ylitse kuin risteysaseman päällimmäisenä tasona b) kuljettimen kaarteeseen kohdalle, milloin viilut syötetään kuljettimelle heti kaarteeseen jälkeen ja suurin osa refeed –laitteesta on linjan sivussa c) kuljettimen suoran osan päälle, kuten kuvassa 20. Toteutustapa valikoituu paikkaan, johon refeed –laite mahtuu parhaiten asennettavaksi ja jonne on paras kuljettavuus.

Refeed –laitteen suunnitteluun tarvitaan seuraavat lähtötiedot:

- layout-piirustus
- kuivaajan ja pinkkarin välisen kuljettimen korkeus koko pituudelta
- viilukoot
- pinkan enimmäiskorkeus
- viilun tiheys (puulaji).

Layout-piirustusta käytetään suunnittelun lähtökohtana. Piirustuksessa on useimmiten sivukuvannot, joista ilmenee kuljettimen korkeusprofiili. Refeed –laite asennetaan verrattain korkealle, jotta refeed –laitteen kuljetin saadaan alaspäin viettäväksi. Tavallisesti riittävä nosto saadaan aikaiseksi asentamalla nostolava, eli saksinostin, korotetulle jalustalle, jolle pinkat toimitetaan trukilla. Jos refeed –laite joudutaan asentamaan niin korkealle, ettei saksinostimen ja trukin yhdistelmällä korkeuteen ylletä, käytetään toisenlaista nostolaitetta.

Viilukoot ovat keskeinen lähtötieto refeed –laitteen suunnittelussa. Refeed –laitteen nostolaitteen ja kuljettimen koot määräytyvät suurimman viilun pituuden ja leveyden mukaan. Refeed –laitteen pitää toisaalta olla käytettävissä kaikille käytetyille viiluko’oille.

Viilukokoja, viilun paksuuksia ja viilun tiheyksiä tarvitaan imulaitteen mitoitukseen. Tärkein viilun tiheyteen vaikuttava tekijä on puulaji, jonka perusteella saadaan jo riittävä tarkkuus mitoitukseen. Imulaitteen tulee olla riittävän tehokas irrottamaan päällimmäinen viilu pinkasta. Toisaalta kaksoissyötöiltä pitäisi välttyä kevyempiäkin viiluja käytettäessä.

7 Yhteenveto

Työn teoriaosuudessa käsiteltiin viilun kuivaamisen teoriaa, esiteltiin nykyaikainen viilunkuivauslinja ja kehitettävät modernisointimodulit. Teoreettisen taustan tiedostaminen on oleellista moduleiden vaikutuksen ja kuivauslinjaan sijoittumisen ymmärtämiseksi. Modernisointimoduleita kehitettiin työssä ratkaisemalla käytössä ilmennyt parannusehdotus ketjukuljettimellisen non-stop –laitteen lukituksen muuttamisesta portaattomaksi. Ongelman ratkaisuun sovellettiin systemaattisen suunnittelun keinoja. Lisäksi modulisuunnittelun apuvälineeksi tarkoitettuja tarkistuslistoja varten kartoitettiin listoissa huomioitavat tekijät.

Viilun kuivaaminen on sorvauksen jälkeinen työvaihe vanerin ja LVL:n valmistusprosessissa. Puu sorvataan kosteana, sillä tällöin viilu leikkautuu parempilaatuisena. Kuivauksen jälkeiset työvaiheet kuitenkin edellyttävät viilun kosteuden olevan alle 9 %. Toisaalta ylikuivaaminen heikentää viilun laatua ja samalla hukataan kuivaajan kapasiteettia turhaan kuivaamiseen.

Puun alkukosteus riippuu monista tekijöistä muun muassa puulajista, kasvupaikasta, leikkuuajasta. Tämän vuoksi puun alkukosteuksissa on vääjäämättä hajontaa, mikä johtaa hajontaan myös loppukosteuksissa. Kuivausparametrien optimointi on tasapainottelua kuivausnopeuden ja märiksi jäävien viilujen osuuden välillä. Kuivausta ohjataan kuivausparametreilla, joita ovat muun muassa sektoreiden kosteudet ja lämpötilat, kuivaajan nopeus.

Työssä esiteltiin modernin viilunkuivauslinjassa esiintyvät laitteet ja niiden toiminta. Laitteiston esittelyn kautta kuvattiin kuivauslinjan toimintaa. Tämä havainnollistaa modernisointimoduleiden sijaintia kuivauslinjassa, kun moduleiden vaikutukset ovat eri vaiheissa kuivausprosessia. Lisäksi työssä esiteltiin kuinka kuivaamisen teoriaa sovelletaan kuivausprosessissa.

Modernisointimoduleiden kehittäminen oli tämän työn tarkoitus. Moduleiden kehittämiseksi näiden toiminta ja rakenne tulee ymmärtää, minkä vuoksi jokaista modernisointimodulia käsiteltiin tässä työssä yksilöllisesti. Modernisointimodulit keskittyvät eri puolille kuivauslinjaa ja toteuttavat eri tehtäviä. Yhteäväisyyksiä moduleiden välillä on vaikea löytää. Non-stop –laite tehostaa syöttölaitteen toimintaa. Kostutusjärjestelmä, poisto- ja korvausilman ohjaus, sekä ruuhkantunnistus vaikuttavat kuivaajan kuumen osan toimintaan. Jäähdytysilman ohjauksen vaikutusalue on kuivaajan jäähdytyskennosto. Refeed-laite ei suoranaisesti vaikuta linjan toimintaan, mutta sijaitsee kuivaajan jälkeisen kuljettimen varrella.

Systemaattinen suunnittelu toteutettiin saksalaiseen standardiin VDI 2222 pohjautuen, jonka pääkohdat ovat määrittely, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Ensin ratkaistaville ongelmille tehtiin tehtävän määrittely. Tämän jälkeen ongelman asettelu abstrahoitui ja ratkaisulle laadittiin vaatimuslista, minkä perusteella luonnosteltiin ratkaisuvaihtoehtoja. Nämä ratkaisuvaihtoehdot arvioitiin valintakriteereiden perusteella. Parhaan arvosanan saanut vaihtoehto kehitettiin yksiselitteiseksi ratkaisuksi. Viimeistelyvaihe jätettiin tämän työn ulkopuolelle.

Modernisoimalla saadaan vanhan konekannan tuottavuutta optimoitua ja saadaan käyttöön uuden teknologian mahdollistama toiminnallisuus pienillä investointikustannuksilla verrattuna konekannan uusimiseen. Näin saavutetaan myös lyhyempi

investoinnin takaisinmaksuaika. Toimittajalle modernisointiprojektit ovat haastavia, kun sekä modernisoitavat laitteet että asiakkaan tehdastilat vaihtelevat. Tämän seurauksena suunnittelussa huomioitavia asioita on paljon, mikä altistaa suunnitteluvirheille.

Suunnitteluvirheiden välttämiseksi suunnitteluprosessia selkeytettiin laatimalla moduliakohtaiset suunnittelun tarkistuslistat. Tarkistuslista pakottaa käyttäjän miettimään listan jokaista kohtaa, milloin asioita ei jää huomioimatta ja huolimattomuusvirheiltä välttämään. Tarkistuslistoja käytetään esimerkiksi lentokoneissa ennen lento-onlähtöä laitteiston toiminnan varmistamiseksi. Lisäksi koottiin suunnitteluun yleiset ja moduliakohtaiset lähtötiedot, joita voidaan käyttää viitekehyksenä tiedonkeruuvaiheessa. Tämä pienentää riskiä tärkeän mitan unohtumisesta, joka voi johtaa projektin viivästymiseen ja ylimääräiseen mittausmatkaan.

Työssä esitelty ratkaisu portaattomalle säädölle ei ole kattava ratkaisu, vaan vaatii jatkokehitystä. Ratkaisun viimeistelemiseksi tulee vähintään laatia sen valmistamiseen ja käyttämiseen tarvittava dokumentaatio. Lukituksen toimintaa olisi suositeltavaa testata koekäytössä prototyypin avulla ja korjata havaitut virheet. Lisäksi lukituksen komponentteja voisi kehittää kustannustehokkaammiksi.

Työssä esiteltyjen lähtötietojen ja huomioitavien tekijöiden pohjalta laadittiin alustavat tarkistuslistat. Nämä tarkistuslistat on tarkoitettu listojen rungoiksi, joita päivitetään ja laajennetaan aina kun havaitaan puutteita tai kehityskohteita listoissa. Näin tarkistuslistat pysyvät ajankohtaisina vastaavat tarpeeseen. Vastaavat tarkistuslistat voidaan toteuttaa muidenkin suunnittelutehtävien tueksi, kun listojen hyödyllisyys on todettu käytännössä.

Viitteet

- [1] Raute Oyj ja Pohjoisranta Burson-Marsteller Oy. *Rauten vuosikertomus 2015*. Viitattu: 14.10.2016. Saatavissa: <http://www.raute.fi/fi/julkaisut>
- [2] Raute Oyj. 2016. *Raute Oyj:n omistama aineisto*.
- [3] Koponen, Hannu. *Puulevytuotanto*. Helsinki, Opetushallitus, 1995.
- [4] Metsäteollisuus Ry. *Vanerikäsikirja*. Lahti, Kirjapaino Markprint Oy, 2005.
- [5] Kärkkäinen, Matti. *Puutiede*. Hämeenlinna, Karisto Oy:n kirjapaino, 1985.
- [6] Koponen, Hannu. *Puutuotteiden liimaus*. Espoo, Otatieto Oy, 1990.
- [7] Higuchi, Takayoshi. *Biosynthesis and biodegradation of wood components*. Orlando, Florida, Academic Press Inc., 1985.
- [8] Pulkkinen, Petri et. al. *Viulun kuivaus: Puumateriaalin ja kuivausprosessin vaikutukset tuoteominaisuuksiin*. Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Puujalostustekniikan osasto, Tiedonanto 84, 2000.
- [9] Ojalainen, Jussi. *Viulun kuivauksen energiatehokkuuden parantaminen*. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, energiatekniikan koulutusohjelma, 2013.
- [10] Juvonen, Risto & Kariniemi, Jorma. *Vaneriteollisuus*. Helsinki, Valtion painatuskeskus, 1985.
- [11] Söyrlä, Pertti & Siimes, Heikki & Salin, Jarl-Gunnar. *Nykyisten viulunkuivausmenetelmien kehittäminen*. Espoo, VTT, 1988.
- [12] Vainio, Teemu. *Kuivausolosuhteiden vaikutus viulun kuivumisaikaan ja laatuun*. Diplomityö, Aalto-yliopisto, puunjalostustekniikan tutkinto-ohjelma, 2014.
- [13] Tenhunen, Juhani. *Kuivausolosuhteiden vaikutus koivuviulun ja -vanerin ominaisuuksiin, osa II*. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan osasto, 2003.
- [14] Babrauskas, Vytenis. *Ignition of Wood: A Review of the State of the Art*. Interflam 2001, s. 71-88. Lontoo, Interscience Communications Ltd., 2001.
- [15] Kangas, Juha. *Viulun käsittelyn energiankulutuksen minimointi*. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, konetekniikan osasto, 2006.
- [16] Jokinen, Tapani. *Tuotekehitys*. Espoo, Aalto-yliopisto, 2010.